

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals, Nasen- und Ohrenheilkunde
der Universität des Saarlandes
Direktor: Prof. Dr. Bernhard Schick

**Untersuchungen zur uni- und bilateralen Versorgung mit
dem knochenverankerten Hörgerät BAHA**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2010

vorgelegt von: Pierre Serge Victor Leider
geb. am: 11.11.1974 in Luxemburg

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	S. 1-2
1. Zusammenfassung / Summary	S. 3-6
2. Einleitung	S. 7-10
2.1. Historie	S. 7-9
2.2. Fragestellung	S. 9-10
3. Material und Methode	S. 10-36
3.1. Patientengut	S. 10
3.2. Funktion des Mittelohres	S. 10-16
3.2.1. Die Hörereignisrichtung	S. 11-13
3.2.2. Richtungshören	S. 13
3.2.3. Entfernungswahrnehmung	S. 13-14
3.2.4. Schalllokalisation im dreidimensionalen Raum	S. 14-16
3.3. Die Operationstechnik	S. 16-18
3.4. Das knochenverankerte Hörgerät im klinischen Einsatz	S. 18-21
3.4.1. Indikationen für ein knochenverankertes Hörgerät	S. 18-19
3.4.2. Kontraindikationen für das BAHA	S. 19-20
3.4.3. CROS-Versorgung mit BAHA bei einseitiger Taubheit	S. 20-21
3.5. Statistische Methoden	S. 21-22
3.6. Audiometrie	S. 22-36
3.6.1. Grundlagen der Audiometrie	S. 22-23
3.6.2. Methoden der Audiometrie: Sprachtests	S. 23-36
3.6.2.1. Freiburger Einsilber-Test	S. 25-26
3.6.2.2. Der BIRD-Test	S. 26-34
3.6.2.2.1. Beschreibung des BIRD-Tests	S. 26-31
3.6.2.2.2. Durchführung des BIRD-Tests	S. 31-34
3.6.2.3. Der Schalllokalisationstest	S. 34-36
4. Ergebnisse	S. 37-56
4.1. Ergebnisse bei Patienten mit ein- oder beidseitiger Schwerhörigkeit	S. 37-50
4.1.1. Tonaudiometrische Ergebnisse	S. 37-42
4.1.1.1. Tonaudiometrie	S. 37-40
4.1.1.2. Unterschiede der Hörminderungs-Ursachen	S. 40-42
4.1.2. Sprachaudiometrische Ergebnisse	S. 43-44
4.1.2.1. Versorgung mit einem BAHA	S. 43-44
4.1.2.2. Versorgung mit BAHA beiderseits	S. 44
4.1.3. Schalllokalisationstest	S. 45-46
4.1.4. BIRD-Test	S. 47-50
4.2. Ergebnisse bei Patienten mit einseitiger Taubheit	S. 50-56

5. Diskussion

S. 57-71

5.1. Diskussion der Ergebnisse bei Patienten mit ein- oder beidseitiger Schwerhörigkeit

S. 57-65

5.2. Diskussion der Ergebnisse bei Patienten mit einseitiger Taubheit

S. 66-70

5.3. Komplikationen

S. 70-71

6. Literaturverzeichnis

S. 72-78

Untersuchungen zur uni- und bilateralen Versorgung mit dem knochenverankerten Hörgerät (BAHA)

Zusammenfassung

Das knochenverankerte Hörgerät BAHA (bone anchored hearing aid) hatte sich bei seiner Einführung in Deutschland 1989 bereits dem konventionellen Knochenleitungshörgerät als überlegen herausgestellt. Damals wurden jedoch beiderseitige Hörstörungen nur in Paris und Homburg einer bilateralen BAHA-Versorgung zugeführt. Diese Arbeit befasst sich mit Untersuchungen über die Ergebnisse der uni- oder bilateralen Versorgung mit knochenverankerten Hörgeräten.

An der Universität des Saarlandes in Homburg wurden von 1989 bis 2002 97 Patienten mit ein- oder beiderseitigen Hörstörungen mit einem oder zwei BAHAs versorgt. Die größte Gruppe des Patientenkollektivs (68%) stellten die Patienten mit kongenitalen Fehlbildungen dar und die zweitgrößte Gruppe (28%) die Patienten mit Otitiden, während bei 3 Patienten die Indikation auf einen Zustand nach Tumoroperation und bei einem Patienten auf Otosklerose mit Otitis externa zurückzuführen war. Sieben Patienten mit einseitiger Taubheit wurden mittels BAHA-CROS versorgt. 41 Patienten erhielten ein knochenverankertes Hörgerät in Kombination mit einer Epithese und die restlichen 56 Patienten ausschliesslich knochenverankerte Hörgeräte. 41 Patienten wurden beiderseits mit einem knochenverankerten Hörgerät versorgt.

Zur audiometrischen Evaluation wurden das Reintonaudiogramm mit Aufblähkurve, der Freiburger Sprachhörtest, der BIRD-Sprachtest mit und ohne Störgeräusch sowie ein eigens aufgebauter Schalllokalisationstest eingesetzt. Die Schwellenpegel für das Verstehen von Sprache (SVS) wurden unversorgt und versorgt sowie mit und ohne Störgeräusch bestimmt. Der Signal-Rausch-Abstand (signal-to-noise ratio, SNR) wurde zum Vergleich der uni- und bilateralen Versorgung herangezogen. Die Ergebnisse mit dem BAHA wurden

mit der vorherigen Versorgung mit einem konventionellen Knochenleitungshörgerät verglichen.

Die überwiegende Mehrzahl der Patienten hob den angenehmen Klang des BAHA hervor. Die vergleichenden funktionellen Untersuchungen der Patienten, die vorher mit einem konventionellen Knochenleitungshörgerät ausgestattet worden waren und nun ein BAHA trugen, liessen in allen Frequenzbereichen einen Hörgewinn um 5 bis 10 dB erkennen.

Im Freiburger Test ohne Störgeräusch zeigte sich eine Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes durch bilaterale Versorgung um 5 dB. Im BIRD-Test mit Störschall fand sich durch die bilaterale BAHA-Versorgung eine signifikante und klinisch relevante Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes um rund 4 dB. Dies entspricht einer Anhebung um 60%. Das Sprachverstehen verbesserte sich um 76%. Dies verdeutlicht objektiv das subjektiv empfundene bessere Hör- und Sprachverstehen im Lärm.

Bei 20 untersuchten Patienten mit beiderseitiger BAHA-Versorgung konnte eine signifikant bessere Schalllokalisation auf der bisher unversorgten Seite belegt werden. Das Schallfeld wird durch das zweite BAHA für den Patienten damit harmonisiert.

Die BAHA-CROS-Versorgung bei einseitiger Taubheit führt zu einer Hörverbesserung im Störschall, wenn der Störschall auf der hörenden Seite angeboten wird. Die Patienten gaben subjektiv eine erhöhte Sicherheit an. Es fand sich keine eindeutige Verbesserung der Schalllokalisation.

Die Untersuchungsergebnisse werden den Daten der Literatur gegenübergestellt. Sie untermauern die bisherigen Erfahrungen mit den knochenverankerten Hörgeräten bei Schallleitungs- und kombinierten Schwerhörigkeiten sowie der einseitigen Taubheit. Sie stellen eine eindeutige wissenschaftlich-klinische Begründung der uni- und bilateralen BAHA-Versorgung dar.

Studies on Unilateral and Bilateral Bone-Anchored Hearing Aids (BAHA)

Summary

When introduced in Germany in 1989, the BAHA bone conduction hearing aid proved to be superior to the conventional hearing aid. However, bilateral BAHA devices were then only provided for bilateral hearing disorders in Paris and Homburg. This study is investigating unilateral or bilateral care provided by bone-anchored hearing aids.

From 1989 to 2002, 97 patients affected with unilateral or bilateral hearing disorders were equipped with one or two BAHAs at the University of Saarland in Homburg. The majority of the patient cohort (68%) were patients with congenital deformities and the second largest group (28%) were patients affected with otitis media, whereas 3 patients had undergone tumor surgery and one patient had otosclerosis with external otitis. Seven patients affected by unilateral deafness were provided with BAHA CROS devices. 41 patients received a bone-anchored hearing aid in combination with a prosthesis and the remaining 56 patients received bone-anchored hearing aids only. 41 patients were equipped bilaterally with a bone-anchored hearing aid.

A pure tone audiogram with aided threshold, the Freiburg speech intelligibility test, the BIRD sentence test with/without background noise as well as a specifically implemented sound localisation test were employed for the audiometric evaluation. The speech intelligibility threshold levels were determined unaided and aided as well as with and without the presence of background noise. The signal-to-noise ratio (SNR) was used to compare the unilateral and bilateral fittings. The BAHA results were compared with previous hearing aid results obtained when a conventional bone conduction hearing aid was used.

An overwhelming majority of the patients stated the better perceived sound quality with the BAHA. The comparative functional outcomes of patients, who

had previously been fitted with a conventional bone-anchored hearing aid, showed a hearing gain of 5 to 10 dB at all frequencies.

In the Freiburg test, in which background noise is absent, the signal-to-noise ratio was shown to improve by 5 dB due to the bilateral device. In the BIRD test, in which background noise is present, a significant and clinically relevant improvement of the signal-to-noise ratio was found to be approximately 4 dB due to the bilateral BAHA device. This corresponds to an increase of 60%. Speech intelligibility improved by 76%. This illustrates objectively an improvement in hearing and speech comprehension, which corresponds to the subjective statements of the patients.

In 20 patients equipped with bilateral BAHA devices, a significantly improved sound localisation could be accounted for on the side that was unaided. The acoustic field is thus harmonized for the patients by the second BAHA.

In unilateral deafness, the BAHA-CROS device leads to hearing improvement when background noise is presented on the hearing side. The patient gave a subjective indication of an increased feeling of security but a distinctive improvement in sound localisation could not be found.

The study results are contrasted with the literature data. They corroborate previous experiments that used bone-anchored hearing aids in sound conduction and combined hearing difficulties as well as unilateral deafness. They represent a decisive scientific and clinical justification for unilateral and bilateral BAHA devices.

2. EINLEITUNG

2.1. Historie

Seit Januar 1989 werden in der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde der Universität des Saarlandes in Homburg Implantate als perkutane Befestigungselemente von knochenverankerten Epithesen und Hörgeräten zur Rehabilitation von kraniofazialen Defekten und Schwerhörigkeiten in die Schädelknochen eingepflanzt.

Die Entdeckung und Entwicklung der titangebundenen Knochenverankerung geht auf Per Ingvar Branemark zurück. 1952 untersuchte Branemark Heilungsprozesse in Knochen mittels einer in eine Kaninchentibia implantierten Titankammer. Dabei entdeckte er, dass dieser Fremdkörper gut von den Knochen und den Weichgeweben vertragen wurde. Später fanden dann Langzeitstudien an Hunden statt, denen Titanimplantate in die Kiefer eingesetzt wurden. Zum ersten Mal beim Menschen kamen Titanimplantate 1965 als Zahnersatz zur Anwendung. Branemark et al.(1969) beobachteten in einem Tierversuch, dass die Implantate langfristig fest im Knochen verankert bleiben und keine unerwünschten Nebeneffekte im Weichgewebe auftreten, selbst wenn das Metall die Haut durchdringt. Aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften ist Titan seither das bevorzugte Material für die Herstellung enossaler Implantate. Trotz der geringen Korrosionsanfälligkeit gegenüber Säuren und Laugen gelangen winzige Mengen Titanionen in die Umgebung bzw. in den periimplantären Knochen (Dörre 1980) sowie in die Schleimhaut (Weber et al., 1986). Es sind dennoch bisher keine toxischen Effekte von Titan bekannt. Nach den Erfahrungen mit Titanimplantaten als Zahnersatz setzte der schwedische HNO-Arzt Anders Tjellström Titanmaterial 1977 zum ersten Mal außerhalb des Mundes ein, um ein Knochenleitungshörgerät zu verankern.

Aufgrund zahlreicher Untersuchungen formulierte Branemark das Prinzip der Osseointegration. Es beinhaltet die herausragende Biokompatibilität von Titan bei direktem Kontakt mit vitalem Knochen (Branemark et al.,1977). Die

Vorstellung, dass der Kontakt überall besteht, hat sich jedoch nicht bewahrheitet. Unter dem Lichtmikroskop lässt sich nachweisen, dass sich nur 60 bis 80 Prozent der Implantatoberfläche durch einen direkten Knochenkontakt auszeichnen. Führt man Untersuchungen unter dem Elektronenmikroskop durch, finden sich auch an den direkten Kontaktstellen 100 bis 400 nm dünne amorphe Schichten (Sennerby, 1993). Hansson et al. (1983) vermuteten, dass die Schicht aus Proteoglykanen besteht. Linder et al. (1983) fanden ebenfalls im gleichen Jahr heraus, dass die Titanoberfläche von einer dünnen Proteoglykanschicht umgeben ist. Deshalb prägte Albrektsson (1987) für die Osseointegration folgende Definition: "Die Osseointegration ist ein Prozess, bei dem eine klinisch-asymptomatische, rigide Verbindung eines alloplastischen Implantats im vitalen Knochen erreicht wird und unter funktioneller Belastung erhalten werden kann". Auch wenn ihre Definition geändert werden musste, ist die Osseointegration ein unumstrittener Erfolg. Sie ermöglicht dem Patienten unter funktioneller Belastung einen festen Verbund zwischen Implantat und Knochen ohne Abwehrreaktionen des Körpers. Letzendlich begründet die Osseointegration das Fundament der knochenverankerten Hörgeräteversorgung.

In den letzten 20 Jahren wurde das knochenverankerte Hörgerät in zahlreichen Ländern eingeführt und das BAHA ist als etabliertes Verfahren zur Versorgung von Patienten mit reiner Schallleitungsschwerhörigkeit, kombinierter Schwerhörigkeit sowie Patienten mit einer Schallempfindungsschwerhörigkeit und persistierender Gehörgangsentzündung anerkannt. Das Akronym BAHA bedeutet Bone Anchored Hearing Aid. Durchgesetzt haben sich je nach Ausmaß der Hörminderung vor allem zwei BAHA-Modelle, nämlich das BAHA Classic 300, das für einen Knochenleitungsanteil bis etwa 35 dB indiziert ist. Zudem gibt es das leistungsfähigere Taschengerät namens BAHA Cordelle. Es ist für einen Knochenleitungsanteil bis circa 60 dB ausgelegt. An der Universitäts HNO-Klinik und Poliklinik in Homburg/Saar erfolgte seit 1989 die Versorgung einseitiger Schallleitungs- bzw. kombinierter Schwerhörigkeit sowie die beidseitige Versorgung mit knochenverankerten Hörgeräten. Wie bereits aufgeführt ermöglichte erst das Prinzip der Osseointegration den herausragenden Durchbruch der knochenverankerten Hörgeräte. Im Januar

1989 wurde der erste Patient im Rahmen eines Kurses über die Knochenverankerung von Hörgeräten und Epithesen mit Branemark-Implantaten in Homburg versorgt. Das IMZ-System (Friadent) wurde erstmalig im Februar 1993 implantiert. Als letztes in Homburg implantiertes System ist das Titan-Epiplating System zu erwähnen, welches im Jahr 2000 von Prof. Dr. P. Federspil, Dr. Ph. Federspil sowie dem Anaplastologen M.H. Schneider in Zusammenarbeit mit der Firma Medicon entwickelt wurde. So lagen in Homburg bereits frühzeitig Erfahrungen mit mehreren Implantatsystemen zur Versorgung mit knochenverankerten Hörgeräten und Epithesen vor.

2.2. Fragestellung

Eine binaurale Versorgung mit Luftleitungshörgeräten ist für Patienten mit einer bilateralen sensorineuralen Schwerhörigkeit heute medizinischer Standard. Auch bei beidseitigen Schallleitungsschwerhörigkeiten erfolgt die beiderseitige mikrochirurgische Behandlung oder Versorgung mit Hörgeräten. Da eine beiderseitige Behandlung mit BAHAs sowohl in Schweden als auch in den Niederlanden zunächst nicht angewandt wurde, werden in dieser Arbeit die Behandlungsergebnisse nach der beiderseitigen Anwendung der knochenverankerten Hörgeräte untersucht, um die Vorteile wissenschaftlich zu belegen.

Federspil et al. (1992) befassten sich seit 1989 mit der Indikationsstellung der BAHAs bei einseitiger Schallleitungs- oder Kombinationsschwerhörigkeit sowie der beidseitigen Versorgung mit knochenverankerten Hörgeräten bei beidseitiger Schwerhörigkeit und berichten über positive Erfahrungen. Im Rahmen dieser Studie werden stereometrische Testläufe durchgeführt welche sich besonders eignen, um die Wirkungsweise des BAHA bei Patienten mit unterschiedlichen Hörschädigungen zu untersuchen. Die Untersuchungsreihe in dieser Arbeit umfasst neben ton- und sprachaudiometrischen Audiogrammen die Durchführung des so genannten BIRD-Sprachtests sowie des Schalllokalisationstests. Somit werden zwei Hörausprägungen gemessen: Während der BIRD-Test eine messbare prozentuale Erhöhung der Sprachverständlichkeit – etwa im Lärm durch beiderseitige BAHA-Versorgung –

liefert, misst der Lokalisationstest, wie ausgeprägt das Richtungshören der Patienten ist.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1. Patientengut

Die aus dieser Arbeit hervorgehenden Erkenntnisse basieren auf retrospektiv erhobenen Daten aus dem entsprechenden Patientengut. Das Patientenkollektiv bestand aus 97 Personen unterschiedlichen Alters. Davon wurden 41 Patienten mit einem knochenverankertem Hörgerät in Kombination mit einer Epithese versorgt. Die restlichen 56 Patienten waren ausschließlich mit knochenverankerten Hörgeräten versehen. Insgesamt trugen 41 Patienten beiderseits ein knochenverankertes Hörgerät, wohingegen 49 Patienten nur einseitig mit einem BAHA versorgt waren. 7 Patienten mit einseitiger Taubheit waren mittels BAHA CROS versorgt. Bezüglich der Ätiologie für die Hörminderung entfielen 68 Prozent auf kongenitale Fehlbildungen, 28 auf Otitiden, 3 auf Tumore sowie 1 auf eine Otosklerose mit Otitis externa. Die aus dieser Arbeit hervorgehenden Erkenntnisse basieren auf experimentell und statistisch retrospektiv erhobenen Daten aus dem entsprechenden Patientengut der Hals-Nasen-Ohren-Klinik der Universität des Saarlandes, und zwar aus den Jahren von 1990 bis 2002. Die Altersverteilung der Patienten wurde in Fünf-Jahres-Schritten erfasst. Die Bandbreite reichte von Kleinkindern bis hin zu Patienten über 70 Jahren. Aus der Altersklasse null bis fünf Jahre (0-5) nahmen zwei Probanden an den Untersuchungen (0-5/2) teil, 5-10/9, 10-15/3, 15-20/7, 20-25/5, 25-30/7, 30-35/8, 35-40/4, 40-45/8, 45-50/6, 50-55/8, 55-60/9, 60-65/10, 65-70/7 und 70-75/6.

3.2. Die Funktion des Mittelohres

Der Mensch empfängt Schall auf zwei verschiedenen Wegen, zum einen durch Luftleitung über den Gehörgang, das Trommelfell und die Gehörknöchelchen

und auf der anderen Seite über die Knochenleitung. Über den Schädelknochen wird der Schall direkt auf das Hörorgan übertragen.

Das Mittelohr hat die Funktion, den Widerstand des flüssigkeitsgefüllten Innenohres zu überwinden. Durch die Impedanztransformation treten 60 Prozent des Schalls ins Innenohr ein. Eine gestörte Funktion des Mittelohres führt zu einer Schallleitungsschwerhörigkeit oder Mittelohrschwerhörigkeit. Diese Minderfunktion wird im Tonaudiogramm sichtbar: Die für das Innenohr stehende Knochenleitungskurve verläuft getrennt von der Luftleitungskurve. Von einer kombinierten Schwerhörigkeit spricht man, wenn zur Schallleitungsstörung noch eine sensorineurale Schwerhörigkeit, also eine Innenohrschwerhörigkeit oder eine zentrale Schwerhörigkeit, hinzukommt. Diese kombinierte Schwerhörigkeit manifestiert sich im Audiogramm durch ein Abweichen der Luftleitungskurve von der Knochenleitungskurve sowie einer zusätzlichen sensorineuralen Schwerhörigkeit.

3.2.1. Die Hörereignisrichtung

An dieser Stelle soll noch einmal auf eine offenbare Selbstverständlichkeit hingewiesen werden: Mit zwei Ohren hört man besser als mit nur einem Ohr. Allerdings ist die Rechnung „zwei sind eines mehr als nur eines“ nicht die umfassende Erklärung für die Vorteile des zweiohrigen Hörens. Vielmehr sind hierfür zwei wesentliche Mechanismen verantwortlich. Ein gesunder, Normalhörender mit zwei Ohren verfügt über ein gutes Sprachverstehen im Störlärm und weist zudem ein gutes Richtungshören auf. Berücksichtigt werden muss hierbei aber auch der so genannte Kopfschatten-Effekt (Abbildung 1). Ihm liegen physikalische Gesetzmäßigkeiten der Schallaufnahme zugrunde. Der Mensch richtet normalerweise seinen Kopf in Richtung der sprechenden Person aus. Dann trifft die Sprache von vorne auf den Kopf des Hörenden auf. Doch kommt meistens ein störendes Geräusch, also der Störlärm, nicht aus der Richtung des Sprechenden, sondern häufiger von der Seite. Das seitlich auftreffende Störgeräusch erreicht zunächst das zugewandte Ohr. Der Kopf dämpft dieses Geräusch, bevor es dann das abgewandte Ohr erreicht,

allerdings leiser als auf der anderen Seite. Der Kopf fungiert in dieser Situation - ähnlich wie bei Lichteinfall von der Seite – als Schattenwerfer. Das abgewandte Ohr liegt im Kopfschatten. (Abbildung 1)

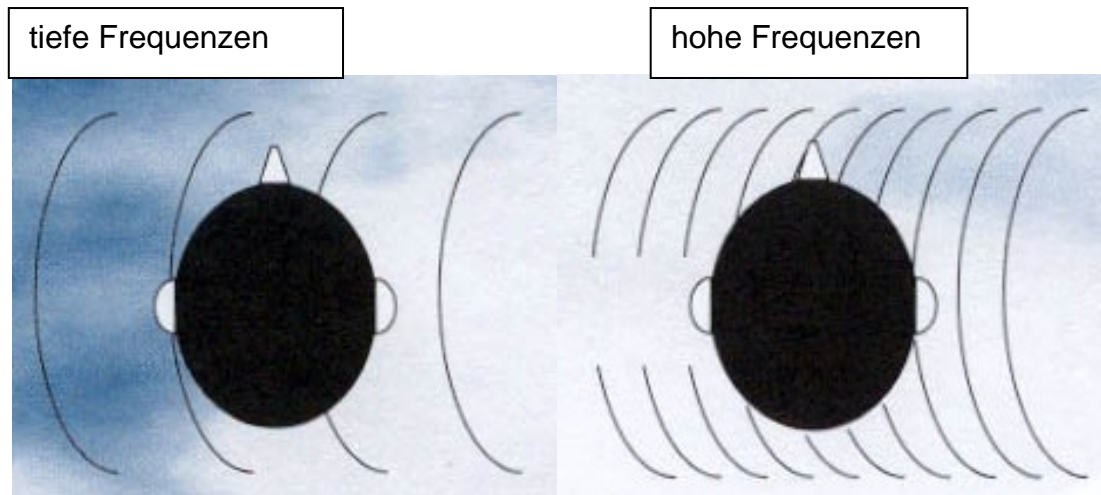


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Kopfschatteneffektes. Hohe und tiefe Frequenzen werden von rechts angeboten.

Quelle: BIRD-Sprachtest, Handbuch

Die Sprache jedoch kommt von vorne. Sie ist für beide Ohren gleich gut zu vernehmen. Da die Sprache von vorne kommt, kommt sie bei beiden Ohren gleich laut an. Doch ist das Sprachsignal beim im Kopfschatten liegenden Ohr stärker, denn es vernimmt ja weniger Störlärm. Man kann somit auch von einem besseren Nutzsignal-Störlärm-Verhältnis sprechen. Wer zwei Ohren hat, versteht ganz unabhängig von der Seite des Störgeräuschs die Sprache besser, denn ein Ohr profitiert immer vom besseren Nutzsignal-Störlärm-Verhältnis.

Stereohören hat die Aufgabe, feine Unterschiede in der Schallaufnahme wahrzunehmen und zu verarbeiten (Senn et al., 2003). Jeder seitlich auf den Kopf auftreffende Schall wird lauter und früher von demjenigen Ohr aufgenommen, das auf der Seite der Schallquelle liegt. Es ist die Leistung des Gehirns, das diese Zeit- und Lautstärkeunterschiede erkennt und auf Ort sowie Richtung der Schallquelle schließt. Das Gehirn vermag zudem, verschiedene Schallquellen zu unterscheiden und das wichtigere Schallereignis – etwa die

Sprache im Gegensatz zum Straßenlärm – bevorzugt wahrzunehmen. In diesem Zusammenhang wird häufig der so genannte Cocktailparty-Effekt zitiert. Er steht für das Phänomen selektiver Aufmerksamkeit. Aus dem Stimmengewirr heraus kann man die Sprache des Gesprächspartners durchgehend heraushören. Die Informationen werden aus einer bestimmten Raumrichtung selektiv herausgefiltert.

Das Stereohören ist somit nicht nur Grundlage für das bessere Sprachverstehen im Störlärm, sondern auch für ein verbessertes Richtungshören. Menschen, die Stereo hören, erleben außerdem einen erhöhten Hörkomfort, sie erleiden seltener Hörermüdung und profitieren im Vergleich zu einseitig Hörenden von einem besseren Klangbild, das mit dem Unterschied zwischen „Stereo“ und „Mono“ bei der Musikanlage vergleichbar ist.

3.2.2. Richtungshören

Aber auch einseitig taube Menschen, die also nur ein funktionierendes Ohr haben, verfügen über Sprachverstehen im Störlärm und Richtungshören, obgleich der Effekt durch den Kopfschatten nur in einer Ausrichtung vorhanden ist und kein Stereohören vorliegt. In diesem Fall fungiert nämlich die Form der Ohrmuschel als Schallfilter. Verantwortlich sind die Vertiefungen und Auffaltungen in der Oberfläche. An diesen Kanten bricht sich der Schall und wird je nach Frequenzanteil unterschiedlich gedämpft. Dadurch ergeben sich für das Gehirn Anhaltspunkte, aus welcher Richtung die Schallquelle kommt. Von enormer Wichtigkeit ist die Ohrmuschel für das Richtungshören auf der Seite des Kopfes, um entscheiden zu können, ob ein Schall von vorne oder eher von hinten auf die Kopfseite auftrifft (Senn et al., 2003).

3.2.3. Entfernungswahrnehmung

Für die Entfernungswahrnehmung von Schallsignalen sind Reflexionen, Intensität, Hallanteil sowie Luftabsorption verantwortlich. Werden durch die Luft hohe Frequenzen absorbiert, so dass es zu tieferen Frequenzen kommt, nimmt

der Mensch eine große Entfernung an. Innerhalb von Räumen sind zur Ermittlung des Signalabstandes Reflexionen und Hall wesentliche Größen (Ulrich J., 2006). Breitbandige Schallquellen können durch die Abschattung und Reflexionen hoher Frequenzanteile durch die Ohrmuscheln, Kopf und Schulter geortet werden. Diese Effekte sind vor allem für die vorne/hinten und oben/unten Bestimmung verantwortlich. Die Ohrmuschel bewirkt eine lineare Verzerrung der Schallsignale und hat eine große Bedeutung für das Lokalisieren von Geräuschen und Tönen. Die Art der Verzerrung hängt von der Einfallrichtung des Schalls und von der Entfernung der Schallquelle ab.

3.2.4. Schalllokalisierung im dreidimensionalen Raum

Zur Lokalisation einer Schallquelle im Raum sind unterschiedliche Mechanismen nötig beziehungsweise möglich. Die Mechanismen, die das Gehör zur Lokalisation benutzt, sind in die Kategorien Halbebene, Vollebene und Entfernung zu unterscheiden. Zur Bestimmung der seitlichen Einfallrichtung des Schalls wertet das Gehör Laufzeitdifferenzen und Pegeldifferenzen zwischen beiden Ohren aus. Man unterscheidet hierdurch die Richtungen links, geradeaus sowie rechts. Diese Mechanismen des Gehörs können nicht zwischen vorne und hinten unterscheiden (mit geradeaus ist hier nicht vorne gemeint). Ein Einfallswinkel für die gesamte Horizontalebene kann vom Gehör mit diesen Mechanismen nicht bestimmt werden.

Um die Einfallrichtung des Schalls in der Medianebene zu lokalisieren, greift das menschliche Gehör auf Resonanzen des Außenohrs zurück. Es unterscheidet die Richtungen vorn, oben, hinten und unten, allerdings nicht rechts und links. Um die Entfernung der Schallquelle festzustellen, wertet das Gehör die Reflexionsmuster und Klangfarben auch aus der Erinnerung aus. Die ersten beiden Mechanismen dienen dazu, den Raumwinkel, unter dem der Schall einfällt, zu bestimmen. Der letzte Mechanismus dient schließlich zur Ermittlung der Entfernung. Um die Einfallrichtung in der Frontalebene auszuwerten, besitzt das menschliche Gehör keine direkten Mechanismen. In

der Frontalebene lokalisiert das Gehör Schallquellen über die Kombination der Mechanismen für horizontalen Einfallswinkel und Medianebene.

Kollmeier (1995) hat dem Phänomen des Cocktail-Party-Effekts ein ganzes Essay gewidmet. Die Störung der Sprachverständlichkeit im Störschall sei ein von der Standard-Audiometrie bisher nicht ausreichend genug erfasstes Beschwerdebild. „Dabei ist gerade bei einer beginnenden Schwerhörigkeit diese Unfähigkeit, in einer störrauschbehafteten Umgebung sich auf einen Sprecher zu konzentrieren und nicht nur ‚Wortsalat‘ zu verstehen, eine der häufigsten Beschwerden. Auch in dieser Situation helfen konventionelle Hörgeräte wenig, weil sie Nutz- und Störsignal in gleicher Weise verstärken“, hält Kollmeier fest. Kollmeier et al. (1995) haben deshalb sehr früh Testreihen entwickelt, um die Sprachverständlichkeitsschwelle im Störrausch zu messen, also die Sprachlautstärke, bei der der Proband unter dem Einfluss von Störschall noch 50 Prozent der Sprache verstehen kann.

Der Proband muss versuchen, das vorgespielte, im Rauschen versteckte Wort zu erkennen. Auf einer Liste von Antwort-Alternativen wählt er dieses Wort aus und tippt es auf einem Bildschirm an. Kollmeier hat bei Patienten mit Innenohrschwerhörigkeit eine große Variationsbreite der Sprachverständlichkeitsschwelle festgestellt. Für den Cocktail-Party-Effekt ist aber nicht nur die Leistung wichtig, die jedes Ohr allein, also monaural, erreicht, sondern das zweiohrige, binaurale und somit räumliche Hören, hält Kollmeier (1995) fest. Das Gehirn ist durch den Vergleich der an beiden Ohren anliegenden Signale in der Lage, jene Störrauschanteile zu unterdrücken, die aus einer Richtung kommen, und Nutzsignalanteile aus einer anderen Richtung zu verstärken.

Lenkt man nun die Störrauschquelle zur Seite aus, steigert dies die Sprachverständlichkeitsschwelle bei Normalhörenden um bis zu 12 dB. Das kann die Verständlichkeit der Sprache um bis zu 100 Prozent verbessern. Verantwortlich dafür ist einmal die binaurale Signalverarbeitung und zum zweiten der monaurale Kopfabschattungseffekt. Auf dem „besseren Ohr“, das

der Schallquelle stärker zugewandt ist, ist der Störschall leiser und der Nutzschaall lauter. Kollmeier beschreibt, wie diese beiden Effekte voneinander getrennt werden können und in der Situation mit getrennter Stör- und Nutzschaallquelle noch das abgewandte Ohr abgedämpft wird. Dadurch ist es möglich, den binauralen Gewinn durch „Hinzuschalten“ des „schlechteren“ Ohrs auszumessen.

„Durch diese Messtechnik kann für den individuellen Patienten der Gewinn von zweiohrigem gegenüber einohrigem Hören quantitativ erfasst werden. Neben diagnostischen Aussagen über das Zusammenwirken beider Seiten des auditorischen Systems kann daher auch der mögliche Nutzen von zweiseitiger Hörgeräte-Versorgung gegenüber der leider bisher noch überwiegend angewandten einseitigen Hörgeräteversorgung abgeschätzt werden“, resümiert Kollmeier (1995).

3.3. Die Operationstechnik

Federspil et al. (2000) beschreiben das übliche Prozedere der Operation, die in örtlicher oder allgemeiner Anästhesie in einem oder zwei Schritten durchgeführt wird. Schritt Nummer eins beinhaltet bis jetzt vorrangig Knochenanbohrung, Gewindeschneiden und das Eindrehen des Titanimplantats, das drei oder vier Millimeter lang ist. Mit Hilfe einer Lupenbrille oder des Mikroskops kann die Bohrung der Knochenkavität sicher durchgeführt und durch sanft tastende Bewegungen auch die Verletzung wichtiger Gefäße oder der Duramater vermieden werden (Federspil et al., 1994). Im zweiten Schritt dünnt der Operateur mit einem Dermatom die Haut in der Umgebung der Schraube aus und entfernt so auch die Haarbalge. Durch die Hautausdünnung soll vermieden werden, dass sich Hauttaschen bilden oder sich die Haut um den Aufsatz bewegt, da letzteres zu Entzündungen führen kann. Außerdem wird in dieser Operationsphase ein in das Innengewinde der Titanschraube geschraubter Aufsatz – der perkutane Pfeiler oder „Abutment“ - durch die Haut hindurchgeführt.

Für diese Operation wird ein spezielles Instrumentarium benötigt. Von grosser Bedeutung ist, das chirurgische Trauma für den Knochen gering zu halten. Diese Warnung bezieht sich auf den Bohrvorgang. Es wird gefordert, bei intermittierend auszuübendem Druck und permanenter Spülung mit einer niedrigen Geschwindigkeit zu bohren, damit die Temperatur am Knochen 34 Grad Celsius nicht übersteigt (Eriksson et al., 1983, 1984A, 1984B, 1986). Höchste Sterilität ist ebenso gefordert und die Titanimplantate dürfen ausschließlich mit Titaninstrumenten angefasst werden. Der Bereich der Implantation liegt beim Warzenfortsatzknochen in einem Abstand von 5 bis 5,5 Zentimeter vom Mittelpunkt des äußeren Gehörgangs. Das BAHA darf nach der Verankerung die Ohrmuschel nicht berühren. Bei großer Verstärkung besteht sonst die Gefahr, dass Rückkopplungsphänomene auftreten (Federspil P. et al., 2000).

Rund eine Woche nach dem zweiten Schritt kann die mit Terracortril®-Salbe bestrichene Mullstreifentamponade um das Abutment abgenommen werden. Nach den Untersuchungen des Homburger Krankenguts von Junker (2006) gingen von den für ein BAHA vorgesehenen Implantaten bei den über 10jährigen 5% und bei den unter 10jährigen 18% verloren. Wenn es zu Komplikationen kam, dann höchstens zu leichten Entzündungen um das Implantat herum. Diese konnten meistens mit Salben rasch zum Abklingen gebracht werden.

Die beiden Operationsschritte werden klassischerweise zweizeitig in einem Abstand von drei Monaten durchgeführt. Bei Erwachsenen können beide Schritte in einem Operationsvorgang, also einzeitig, vorgenommen werden, wenn die Kortikalis dicker als drei mm ist und keine Strahlentherapie erfolgt oder geplant ist. Um die Gefahr fibrösen Gewebes um die Implantate herum zu minimieren, müssen zwischen Operation und Aufsetzen des Hörgerätes mindestens drei Monate vergehen. Dies gilt auch bei einzeitigem chirurgischem Vorgehen.

Kinder mit bilateralen großen Ohrfehlbildungen werden üblicherweise in den ersten Lebensjahren mit beidseitigen BAHAs am Stirnband versorgt. Aber es wurde sogar schon ein eineinhalbjähriges Kind mit einem knochenverankerten Hörgerät versorgt, und zwar von Tjellström in Schweden. Die audiologische Funktion von traditionellen Knochenleitungshörgeräten oder BAHAs am Stirnband nimmt in der Regel ab, wenn die Haut – altersbedingt – dicker wird so dass ein höherer Anpressdruck notwendig wird und Schmerzen und Druckstellen resultieren. Im vierten oder fünften Lebensjahr bietet sich demnach die Knochenverankerung an. Die mittlere Dicke des kindlichen Schädelknochens beträgt jedoch auch dann erst im Durchschnitt zwei Millimeter (Granström, 2000). Implantationen bei Kindern werden deshalb besonders vorsichtig unterm Operationsmikroskop durchgeführt. Als Alternative besteht die Möglichkeit einer Versorgung mit dem Ti-Epiplating System nach schriftlich fixierter besonderer Aufklärung.

3.4. Das knochenverankerte Hörgerät im klinischen Einsatz

3.4.1. Indikationen für ein knochenverankertes Hörgerät

Zum einen bieten sich sowohl BAHAs als auch knochenverankerte Epithesen bei grossen Fehlbildungen des Ohres an. Des Weiteren ist das BAHA nach Tumoroperationen angezeigt, bei denen das Innenohr erhalten ist, aber ein Luftleitungshörgerät nicht angepasst werden kann. Weiterhin ist das knochenverankerte Hörgerät bei chronischer Otitis media angezeigt, zumindest, wenn bereits mehrere Voroperationen vorliegen und die Erwartungen auf eine weitere erfolgreiche mikrochirurgische Hörverbesserung oder Sanierung nicht mehr hoch sind. Auch akustische Rückkopplungen bei der Versorgung einer Schallleitungsschwerhörigkeit von über 35 dB durch ein Luftleitungshörgerät sind Indikationen für BAHAs, genauso wie wenn es sich um das letzte hörende Ohr handelt. Das BAHA bietet sich zudem besonders an, wenn herkömmliche Knochenleitungshörgeräte Probleme bereiten und nicht mehr toleriert werden. Dies kann sich in Druckstellen äußern, die Weichteilreizungen mit Schmerzen verursachen. Um die Schmerzen zu vermeiden, tragen die Patienten das Gerät

nicht so lange oder die Ankopplung ist nicht optimal. Pointiert kann man sagen: „Entweder die Patienten hören und haben Schmerzen, oder sie haben keine Schmerzen, hören aber auch nichts. Und deshalb ist das knochenverankerte Hörgerät wirklich ein Segen: Durch die direkte Knochenanregung wird schmerzfrei und mit weniger Distorsion gehört“ (Federspil et al., 2000). Das knochenverankerte Hörgerät ist erst ab einer Sprachdiskrimination von über 60 dB möglich.

3.4.2. Kontraindikationen für das BAHA

Bei der Entscheidung, ob das BAHA für einen Patienten geeignet ist, kommt es im wesentlichen auf die Knochenleitungsschwelle an. Der Untersucher bildet den Mittelwert bei den Frequenzen 0,5, 1, 2 und 3 kHz. Bis etwa 35 dB kann noch mit dem BAHA Classic 300 bzw. BAHA Compact, die auf Ohrhöhe getragen werden, versorgt werden. Ein größerer sensorineuraler Verlust bis maximal 60 dB kann noch mit dem Taschengerät BAHA Cordelle II ausgeglichen werden. Das bedeutet auch: Ist die Knochenleitungsschwelle schlechter als 60 dB, liegt eine Kontraindikation vor. Dasselbe gilt für eine Sprachdiskrimination unter 60 Prozent. Werden diese Ausschlusskriterien nicht beachtet, führt dies dazu, dass der Patient aus einer Versorgung mit einem knochenverankerten Hörgerät kaum oder gar keinen Nutzen ziehen wird (Tjellström et al., 1995; Federspil et al., 2000).

Allgemeine Gegenanzeigen für das knochenverankerte Hörgerät gibt es nur wenige. Wesentliche sind eine Demenz, Immunsuppressiva- oder Zytostatikaeinnahme und Kachexie. Mangelnde Hygiene, andere psychische Erkrankungen, Alkohol- und Drogenabhängigkeit, insulinpflichtiger Diabetes, primäre hämorrhagische Diathesen, Autoimmunerkrankungen, schwere Stoffwechselerkrankungen (Erkrankungen der Nebennierenrinde, Osteomalazie), ausgeprägte Leber- und Nierenerkrankungen, starkes Rauchen sind relative Kontraindikationen. Im Einzelfall muss abgewogen werden, ob die Knochenverankerung vertretbar ist. Liegt ein Zustand nach Bestrahlung vor oder steht eine Nachbestrahlung an, so muss der Patient darüber aufgeklärt werden, dass bestrahlter Knochen ein ungünstiges Implantatbett darstellt, das

ein operatives Vorgehen in 2 Schritten und das Anbringen eines zusätzlichen Ersatzimplantates empfehlen lässt (Federspil et al., 1998). Ist eine Bestrahlung der Gegend eines frisch angebrachten Implantates angezeigt, so sollte dieses Implantat nicht freigelegt und das Anbringen des Abutments am besten 2 Monate nach der Bestrahlung vorgenommen werden. Eine Alternative ist die hyperbare Sauerstoffverabreichung (Granström 1991, 1993). Weiterhin wurde bei starken Rauchern ein erhöhter Verlust von intraoral angebrachten Titanimplantaten beobachtet (Hallmann 1990 *in* Junker 2006). In Homburg wurden ähnliche Verluste extraoral implantierter Titanimplantate beobachtet. Da Rauchen die erreichbare Neovaskularisierung herabsetzt, ist es empfehlenswert, das Rauchen bei der Rehabilitation mit knochenverankerten Epithesen und Hörgeräten zu vermeiden.

3.4.3. CROS-Versorgung mit BAHA bei einseitiger Taubheit

Bei der CROS-Versorgung (Contralateral Routing of Signals) mit dem BAHA setzt der Operateur das Titanimplantat in den Warzenfortsatz des tauben Ohres ein. Das BAHA nimmt damit den Schall von der tauben Seite auf und überträgt diesen über den Knochen. Die Vibrationen werden auf das Innenohr der hörenden Seite übergeleitet. Der überhörte Schall wird nur um 5 bis 15 dB gedämpft, das bedeutet allerdings, daß der Schalldruck im Gegenohr lediglich noch ein Drittel bis ein Fünftel des Ausgangswertes beträgt. Der Vorteil der bilateralen Versorgung besteht somit in der gleichberechtigten Anregung beider Hörorgane ohne Laufzeitdifferenz (Abbildung 2).

CROS=Contralateral Routing of
Signals

Minus 5-15 dB

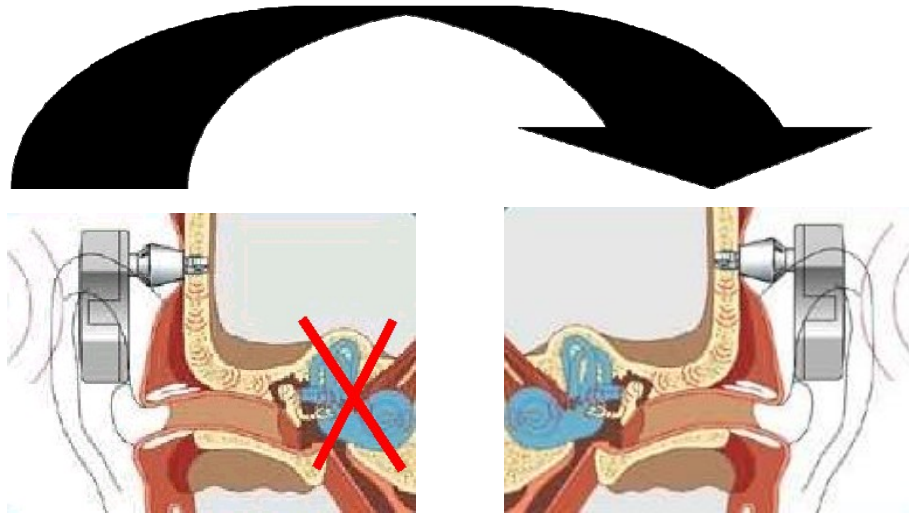


Abbildung 2: Schematische Darstellung der binauralen Versorgung sowie des Prinzips der CROS-Versorgung

3.5. Statistische Methoden

Im Folgenden soll erläutert werden, wie die im vorhergehenden Kapitel theoretisch beschriebenen Methoden auf die konkrete Fragestellung angewendet wurden. Vorher soll jedoch ein Blick auf die Grundlagen des statistischen Auswertungsverfahrens geworfen werden, über das die Messergebnisse evaluiert werden. Dem Auswertungsmodus der Computerprogramme, die an die Testverfahren gekoppelt sind und die Signifikanzen sogleich berechnen, liegt das Konfidenzintervall zugrunde.

Das Konfidenzintervall wird auch als Vertrauensbereich bezeichnet. Diese Begrifflichkeit aus der mathematischen Statistik bezeichnet die Präzision der Lageschätzung eines Parameters. Es umfasst einen Bereich um den geschätzten Wert des Parameters und trifft mit einer zuvor festgelegten Wahrscheinlichkeit die wahre Lage des Parameters. Dieser wahre Wert einer Messung wird auch als Effektgröße bezeichnet. Aus dem Konfidenzintervall lässt sich somit direkt die Signifikanz ablesen.

Das Konfidenzintervall kommt zum Einsatz um nachzuvollziehen ob sich zwei errechnete Mittelwerte unter zwei unterschiedlichen Bedingungen statistisch

signifikant voneinander unterscheiden, oder ob es nur aufgrund anderer Umstände zu unterschiedlichen Mittelwerten gekommen ist. Deshalb werden Vertrauensintervalle um die Mittelwerte ausgerechnet. Sie geben, abhängig von der Streuung und der Anzahl der Einzelmessungen, den Bereich an, der jeweils den wahren Wert mit großer Wahrscheinlichkeit mit einschließt. Die Wahl des 95%-Konfidenzintervalls bedeutet, dass in 95 von 100 Fällen die errechneten Intervallgrenzen den wahren Wert enthalten. Die Mittelwerte werden beim 95%-Konfidenzintervall in der Regel als signifikant unterschiedlich bezeichnet. Man sagt auch, die beiden Gruppen/Stichproben unterscheiden sich signifikant auf einem Niveau von fünf Prozent. Als hochsignifikant unterschiedlich gelten sie, wenn sie sich auf einem 1%-Niveau unterscheiden, also bei einem 99%-Konfidenzintervall. Das Konfidenzintervall wird umso enger, je mehr Patienten in die Studie eingeschlossen sind, also je größer die Stichprobe wird.

3.6. Audiometrie

3.6.1. Grundlagen der Audiometrie

Die Audiometrie bezeichnet ein Verfahren, das die Parameter und Eigenschaften des Gehörs vermisst. Die Audiometrie unterscheidet zwischen subjektiven und objektiven audiometrischen Verfahren. Bei ersteren wirkt der Patient mit, die zweiten kommen ohne diese Mithilfe des Patienten aus.

An dieser Stelle sollen noch einmal wichtige Begrifflichkeiten erläutert werden, die später bei den Messungen und in den Ergebnissen eine Rolle spielen. Vielfach wird von SVS die Rede sein. Damit ist die Sprach-Verständlichkeits-Schwelle gemeint. Für Messungen im Störgeräusch ist sie definiert als Signal-Rausch-Abstand, bei dem 50 % der getesteten Wörter im Wörter- oder Satztest verstanden wurden.

Der Signal-Rausch-Abstand ist ein Maß für die Qualität eines aus einer bestimmten Schallquelle stammenden Nutzsignals. Er bezeichnet das Verhältnis der Pegel von Sprachsignal und Störschall. Die Pegel werden logarithmisch in dB angegeben. Beim Berechnen des Signal-Rausch-Abstandes

werden die Pegel daher voneinander subtrahiert: Liegt der Pegel des Sprachsignals über dem des Störgeräuschs, so geht der Signal-Rausch-Abstand in den Minusbereich und wird als minus-dB-Wert angegeben.

Wenn die Verständlichkeit in Prozent über den Signal-Rausch-Abstand der Signale aufgetragen wird, ergibt sich die Diskriminationsfunktion. Die Kurve gibt die Sprachverständlichkeitsschwelle an. Werden die zu bestimmten Sprachverständlichkeiten gehörenden Signal-Rausch-Abstände gemessen, so ist die Messgenauigkeit abhängig von der Steigerung der Diskriminationsfunktion. Die Sprachverständlichkeitsschwelle wird daher auf dem adaptiven Wege ermittelt, um effizienter messen zu können.

Das adaptive Messverfahren für die Bestimmung der Sprachverständlichkeitsschwelle besteht darin, den Lautstärkepegel der Sätze entsprechend der vorhergehenden Antwort des Probanden zu steuern. Wenn der Proband etwa vier Wörter des ersten Satzes richtig wiederholt, so wird beim nächsten Mal der Darbietungspegel des zweiten Satzes um 2 dB reduziert. Somit tastet die Versuchsleitung sich nach und nach an die Sprachverständlichkeitsschwelle heran.

3.6.2. Methoden der Audiometrie: Sprachtests

Zu den Methoden der Audiometrie gehören Sprachverständlichkeitstests. Darunter verstehen wir Untersuchungen, bei der die Fähigkeit einer Person festgestellt wird, Sprache zu hören und im Detail zu verstehen. Meistens hat der Proband einen Kopfhörer auf den Ohren. Darüber werden in festgelegter Lautstärke gesprochene Worte vorgespielt. Der Proband muss dann Auskunft geben, was er gehört und verstanden hat. In der Diskrepanz zwischen tatsächlich abgespieltem Text und dem davon Vernommenen erkennt der Untersucher, wie es um Hörleistung und Sprachverständnis des Patienten steht.

Bei solchen Tests kann es sich zum Beispiel um Silbentests handeln. Dabei werden einzelne – sinnlose – Silben abgespielt. Der Proband muss versuchen, die Silben nachzusprechen. Gemäß dem Schema „verstanden/nicht

verstanden“ wertet die Versuchsleitung die Antworten aus. Der in der Audiometrie am häufigsten angewandte Wörtertest ist der Freiburger Wörtertest. Über Kopfhörer werden dem Probanden einsilbige Hauptwörter und Zahlwörter vorgespielt. Da gerade Zahlwörter sehr leicht verständlich sind, kann man sie auch bei vergleichsweise niedrigen Schalldruckpegeln erkennen. Ein Mensch mit Normalgehör erkennt Zahlwörter bereits bei knapp 20 dB. Anders ist es bei einsilbigen Hauptwörtern. Diese werden nur dann korrekt nachgesprochen, wenn der Proband jeden Laut erkannt hat. Etwa bei einem Schallpegel von 50 dB versteht ein Normalhörender solche einsilbigen Hauptwörter vollzählig.

Damit ein Schwerhöriger diese Silben und Wörter versteht, benötigt er einen entsprechend höheren Schalldruckpegel. Liegt jedoch eine Schallempfindungsstörung vor, werden auch bei optimalem Pegel nicht mehr alle der einsilbigen Wörter korrekt verstanden. Hier wird von einem Diskriminationsverlust gesprochen. Da die Bedingungen in der Testsituation mit dem realen Alltagsleben aber wenig zu tun haben, gibt es auch Versuchsläufe, bei denen Störgeräusche zugespielt werden. Somit werden sprachähnliche Störgeräusche, wie etwa das von Gesprächen am Nachbartisch, simuliert.

Im Unterschied zum Wörtertest bestehen Satztests aus ganzen Sätzen. Diese kommen den alltäglichen Bedingungen des normalen Lebens näher als ein Worttest. Bei Satztests werden ganze Sätze auf Band gesprochen. Die Versuchsleitung spielt den Probanden die Tonträger vor.

Der Göttinger Satztest ist von Wesselkamp et al. (1992) entwickelt worden. Er gilt als Weiterentwicklung des Marburger Satztests. Der computergesteuerte Test besteht aus 20 Listen zu je zehn sinnvollen Sätzen, die dem normalen Sprachgebrauch entnommen wurden. Diese Sätze werden in normaler, zügiger Sprechweise vorgespielt. Beim Göttinger Satztest wird die Sprachverständlichkeit im Störgeräusch gemessen. Der Test kann für beide Ohren getrennt vorgenommen werden oder in räumlichen Situationen. Maß ist die 50-Prozent-Sprachverständlichkeitsschwelle, also der Sprachpegel im Verhältnis

zum voreingestellten Störgeräuschpegel, bei dem im Durchschnitt die Hälfte der Wörter eines Satzes verstanden wird. Das Verhältnis wird mit der Genauigkeit von 1 dB bestimmt. Der Göttinger Satztest ermittelt diese 1-dB-Genauigkeit in relativ kurzer Zeit. Verschiedene räumliche Sprach-Störgeräusch-Situationen sind dabei über Lautsprecherdarbietung möglich.

Fürs Sprachverstehen im Störgeräusch bietet sich vorrangig der Oldenburger Satztest an (OLSA). Gerade bei diesem Test ist die Vorhersagbarkeit der Sätze ziemlich gering (Kiessling J., 2000). Der OLSA wird im freien Schallfeld durchgeführt mit vier Lautsprechern im Halbkreis. Der Winkelabstand beträgt 90 Grad. Zielgröße ist das korrekte Verstehen von Sätzen mit fünf ein- bis zweisilbigen Wörtern, die gleichzeitig mit einem standardisierten Störgeräusch angeboten wurden. Aus den Ergebnissen wurde die so genannte Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS) ermittelt. Sie ist als Signal-Rausch-Abstand in Dezibel (dB) definiert, bei dem 50% der getesteten Wörter verstanden werden. Die SVS ist also ein Maß für das Sprachverstehen im Störgeräusch. Sie wird gewöhnlich für sechs verschiedene Anordnungen ermittelt:

1) Sprache (S=speech) vorne, Störgeräusch (N= noise) vorne, notiert als S 0° N 0°, 2) Sprache vorne, Störgeräusch hinten, S 0° N 180°, 3) Sprache vorne, Störgeräusch seitlich auf der normalhörenden Seite, S 0° N 90° bzw. 270°, 4) Sprache vorne, Störgeräusch seitlich auf der Gegenseite S 0° N 270° bzw. 90°, 5) Sprache seitlich, Störgeräusch seitlich auf der normalhörenden Seite, S 90° N 270°, 6) Sprache und Störgeräusch auf der Gegenseite, S 270° N 90°.

3.6.2.1. Freiburger Einsilber-Test

Beim Verstehen von Sprache spielen zwei unterschiedliche Fähigkeiten eine herausragende Rolle. Einmal die Sprachverständlichkeit, das heißt die Eigenschaft des Sprachmaterials, die von einem durchschnittlichen, normalhörenden Probanden verstanden werden. Zum Zweiten spielt ebenfalls die individuelle Sprachperzeptionsleistung eine Rolle. Hiermit sind die von dem individuellen Patienten erbrachten Voraussetzungen zum Sprachverstehen, die

mehr oder minder gestört sein können, gemeint. In der Sprachaudiometrie wird die Verständlichkeit von standardisiertem Sprachmaterial bei dem individuellen Patienten gemessen, um Rückschlüsse auf dessen Sprachperzeptionsleistung ziehen zu können.

Für solche Verständlichkeitsmessungen sollte Material verwendet werden, das möglichst repräsentativ für die Sprache und für die zu betrachtende Kommunikationssituation ist. Es werden hierbei zwei Testverfahren unterschieden: auf der einen Seite „offene“ Tests, bei dem ein Test-Item – etwa ein Wort oder ein Satz - dem Probanden dargeboten wird. Der Proband soll anschließend das dargebotene Test-Item möglichst korrekt und fehlerfrei wiederholen. Zudem gibt es „geschlossene“ Tests. Bei diesen benennt der Proband das richtige Test-Item auf einer Liste von möglichen Antworten. Beim Freiburger Wörkertest handelt es sich um einen „offenen Test“. In der Standard-Audiometrie ist er derzeit der am häufigsten eingesetzte Sprachtest.

Allerdings hat der Freiburger Einsilbertest seine Grenzen. Für die vorliegende Testreihe empfahl sich dieser Test nicht, da er sich zur Messung des Signal-Rausch-Abstandes (Signal-to-noise ratio) nur bedingt eignet. Die Anstiegssteilheit im Bereich der 50-prozentigen Verständlichkeit ist für eine ausreichende Trennschärfe nicht ausreichend. Diese Steilheit ist bei Satztests eher gegeben. Deshalb wurde für diese Arbeit der Göttinger Satztest eingesetzt, eingebettet in den BIRD-Test.

3.6.2.2. Der BIRD-Test

3.6.2.2.1. Beschreibung des BIRD-Tests

BIRD steht für „Binaural Räumlich Differenzieren“. Ganz allgemein gesprochen handelt es sich beim BIRD-Test um ein zuverlässiges und effizientes Verfahren zur objektiven Bestimmung der Verständlichkeit von Sätzen in Ruhe und mit Umgebungsgeräuschen aus unterschiedlichen Richtungen. Durch die Verwendung von sinnvollen Sätzen und definiertem Störschall wird eine möglichst natürliche Hörsituation erzeugt. Die BIRD-Ergebnisse verdeutlichen

die Fähigkeit der Testperson, Sprache in Ruhe und mit Störschall aus unterschiedlichen Richtungen zu verstehen. Diese Ergebnisse können wiederum mit Daten für Normalhörende verglichen werden.

Durch den Vergleich der BIRD-Ergebnisse mit und ohne Versorgung der Testperson mit Hörhilfen ergibt sich direkt die prozentuale Erhöhung der Sprachverständlichkeit durch die Hörgeräteversorgung und liefert damit einen Maßstab zur objektiven Beurteilung der erfolgten Anpassung. Der Vergleich der BIRD-Ergebnisse mit monauraler und binauraler Versorgung kann den Vorteil einer binauralen Hörgeräteversorgung verdeutlichen. Hierbei zeigt die Messung objektiv, inwieweit die Testperson räumliche Wahrnehmungsmerkmale wie Laufzeitunterschiede oder Pegelunterschiede an den beiden Ohren für eine Erhöhung der Sprachverständlichkeit ausnutzen kann. Das Sprachmaterial ist für die Durchführung der Messung zur Sprachverständlichkeit in Störgeräusch nach dem Norm-Entwurf zur Sprachaudiometrie (DIN 8253, Teil 3, Feb. 1994) geeignet.

Das BIRD-Sprachmaterial setzt sich aus 20 Testlisten von je zehn Sätzen (Göttinger Satztest) sowie zusätzlichen fünf Übungslisten von je zwölf Sätzen zusammen. Als Störschall wird ein sprachsimulierendes Rauschen verwendet. Mittels unterschiedlicher Konfigurationen dieser Signale kann anschließend der Schwellenpegel für das Verstehen von Sprache (SVS), der einer Sprachverständlichkeit von 50 Prozent entspricht, ermittelt werden. Bewertet wird die Anzahl der richtig verstandenen Wörter. Hierfür wird während der Messung, je nach Antwort der Testperson, der Pegel des Sprachsignals adaptiv geregelt. In der Messung mit Störsignal wird das sprachsimulierende Rauschen bei einem festen Pegel zusätzlich vorgespielt. In den Vergleichsmessungen kann die reaktive Verbesserung der Sprachverständlichkeit in dB direkt in eine prozentuale Verbesserung der Sprachverständlichkeit umgerechnet werden (1 dB entspricht dabei 20 Prozent Sprachverständlichkeit).

Die Untersuchung wird in einem schallisolierten Raum mit zwei Lautsprechern, einem Stuhl, einem CD-Spieler und einem zweikanaligen Audiometer mit 1 dB Schrittweite in der Pegelregelung durchgeführt. Die Versuchsleitung positioniert

die Lautsprecher in einem Winkel von 90 Grad. Sie werden jeweils einen Meter von der Position der Testperson aufgestellt. Vor der Durchführung des BIRD-Sprachtests ist es nötig, Audiometer und Lautsprecher sorgfältig zu kalibrieren. Somit ist sichergestellt, dass die Schallsignale konsistent reproduziert werden können und eine Vergleichbarkeit der Messergebnisse möglich ist. Die zum Test gehörige BIRD-CD beinhaltet daher in der Regel ein dreiminütiges Kalibrierungsrauschen.

Die Lautsprecher sind so angebracht, dass sie auf gleicher Höhe mit dem Kopf der Testperson positioniert sind, also etwa 100 bis 120 Zentimeter hoch. Die Lautsprecher für den BIRD-Sprachtest sollten eine möglichst flache Übertragungsfunktion im Frequenzbereich von 250 Hz bis 6 kHz haben. Es sollten ebenfalls keine Mehrkanal-Lautsprecher, bei denen Hoch- und Tieftöner weit auseinander liegen, verwendet werden. Denn diese Trennung könnte die Wahrnehmung der Schallsignale beim Richtungshören beeinflussen.

Die Durchführung des BIRD-Sprachtests erfolgt generell nach einem standardisierten Prinzip und orientiert sich an der speziell für diesen Test konzipierten Software. Es wird der Schwellenpegel für das Verstehen von Sprache in vier unterschiedlichen Konfigurationen ermittelt. Wie erwähnt, entspricht der SVS 50 Prozent Sprachverständlichkeit. Er wird zum einen für Sprachsignale von vorn (entspricht 0°) ohne Störschall ermittelt, zum anderen für Sprachsignale von vorn (0°) und einem Störschall aus 0°, 90° und 270° Richtung. Bei Messungen mit Störsignal wird das sprachsimulierende Rauschen bei einem festen Pegel (meistens 65 dB) zusätzlich dargeboten.

Zur Ermittlung des SVS wird der Pegel des Sprachsignals während der Messung adaptiv geregelt, und zwar je nach Richtigkeit der Antwort der Testperson. Der Proband hat die Aufgabe, den gehörten Satz nachzusprechen. Wiederholt er weniger als 50 Prozent der Wörter des dargebotenen Satzes richtig, so erhöht die Versuchsleitung den Pegel für die folgende Darbietung. Spricht die Testperson jedoch mehr als 50 Prozent der Wörter in dem vorgespielten Satz richtig nach, so verringert sich der Pegel für die folgende

Sequenz. Sollte die Testperson gleich 50 Prozent der Wörter in dem dargebotenen Satz richtig nachsprechen, so wird die Versuchsleitung die folgende Darbietung bei demselben Pegel einspielen. Die Testleitung markiert die vom Probanden richtig wiederholten Wörter auf dem BIRD-Auswertungsbogen. Der SVS wird als Mittelwert der sieben letzten Darbietungspegel berechnet. Dieses adaptive Testverfahren erlaubt somit eine genaue Bestimmung der 50-Prozent-Sprachverständlichkeitsschwelle.

Als Störschall für den BIRD-Sprachtest wird in der Regel ein sprachsimulierendes Rauschen eingesetzt. Das Langzeitspektrum des Rauschens stimmt mit dem mittleren Spektrum des Sprachmaterials des Göttinger Satztests überein. Das Rauschsignal als Maskierungssignal beginnt jeweils 100 Millisekunden vor jedem Satz und endet 100 Millisekunden nach jedem Satz. Die Versuchsleitung stellt den Pegel des Störschalls individuell ein.

Die Messungen werden in der Regel auf den dafür vorgesehenen Auswertungsbogen eingetragen. Jeder BIRD-Auswertungsbogen zeigt vier der 20 Testlisten von jeweils 10 Sätzen. Die vier Testlisten sind für die vier verschiedenen Messsituationen vorgesehen:

- Sprachsignal in Ruhe von vorn (0°)S0
- Sprachsignal und Störschall von vorn (0°)S0N0
- Sprachsignal von vorn und Störschall von rechts (90°)S0N90
- Sprachsignal von vorn und Störschall von links (270°).S0N270

Der SVS in Ruhe wird definiert als der dB-Wert, bei dem die Testperson 50 Prozent der dargebotenen Sprache versteht. Der SVS in Störschall wird als das Verhältnis in dB zwischen dem Pegel des Sprachsignals und dem Pegel des Störschalls ermittelt. Die Sätze eins bis vier einer Testliste fließen nicht in die Berechnung mit ein. Sie dienen vielmehr der groben Einschätzung des Zielwertes und werden nicht in die Berechnung des SVS mit einbezogen. Der Mittelwert in dB der Sätze fünf bis elf bei Messung in Ruhe ist das Resultat der

SVS in Ruhe in dB. Bei der Messung im Störschall wird das Ergebnis definiert als der SVS im Störschall in dB. Er wird ausgedrückt als das Verhältnis zwischen dem Pegel des Sprachsignals und dem Pegel des Störschalls (Signal-to-noise ratio: SNR). Beim Testverfahren werden sowohl der absolute SVS als auch der relative SVS ermittelt. Beim absoluten SVS können verschiedene gemessene SVS in Ruhe oder mit Störschall mit den Daten für normalhörende Testpersonen verglichen werden.

Der relative SVS wird durch mehrere BIRD-Messungen ermittelt, die sich lediglich in einer Konfigurationsgröße unterscheiden. Diese Konfigurationsgrößen können zum Beispiel sein „mit BAHA“, „monaural-binaural“, „Störschall von vorn“ „Störschall von der Seite“ und ähnliches. Die Differenz der unterschiedlichen SVS ergibt einen relativen SVS.

Um von einer signifikanten Verbesserung in der Sprachverständlichkeit sprechen zu können, muss der Unterschied zwischen zwei gemessenen SVS einen bestimmten Wert, also eine Konfidenzschranke, übersteigen. Tabelle 1 zeigt die minimal notwendigen Differenzen zwischen zwei Sprachverständlichkeitsschwellen für die drei Messsituationen mit Störschall, die Konfidenzschranke bei einseitigem Test für das Signifikanzniveau 95 Prozent. Die zugrundeliegenden Werte wurden aus Messungen mit Normalhörenden ermittelt.

Die Spalte ILD (Interaural-Level-Difference) gibt die minimale Differenz an, die notwendig ist, um von einem signifikanten Unterschied zwischen den Situationen Sprache und Rauschen von vorn und Rauschen von der Seite sprechen zu können. Ist der Schwellenunterschied zwischen diesen Situationen größer als angegeben, nutzt die Testperson signifikant räumliche Wahrnehmungsmerkmale in der Sprachwahrnehmung aus.

Minimal notwendiger Unterschied	Rauschen 0° Sprache 0°	Rauschen 90°/270° Sprache 0°	ILD
10 Testsätze	2,5 dB (95%)	2,9 dB (95%)	3,4 dB (95%)

Tabelle 1: Signifikanz-Werte des BIRD-Tests
Quelle: BIRD-Handbuch

3.6.2.2.2. Durchführung des BIRD-Tests

In einem schallisolierten Raum wurden zum Zwecke der Freifeldaudiometrie in einem Testaufbau ein Stuhl, ein CD-Spieler und ein zweikanaliges Audiometer mit 1 dB Schrittweite in der Pegelregelung aufgebaut. Die beiden Lautsprecher wurden in einem Winkel von 90 Grad, jeweils einen Meter von der Position der Testperson aufgestellt, und zwar so, dass sie auf gleicher Höhe mit dem Kopf der Testperson positioniert waren. Die Lautsprecher wurden auf einen Pegelwert von 65 dB kalibriert. Die Differenz der Raumübertragungsfunktion beider Lautsprecher hat im gleichen Frequenzbereich 3 dB nicht überschritten. Wie die Abbildungen zeigen, wurden die Varianten „Signal aus 0 Grad, Störgeräusch aus 90 Grad“, „Signal aus 0 Grad, Störgeräusch aus 0 Grad“ und „Signal aus 0 Grad, Störgeräusch aus 270 Grad“ durchgeführt (Abbildung 3). Abbildung 4 zeigt schematisch den gesamten Versuchsaufbau des BIRD-Test.

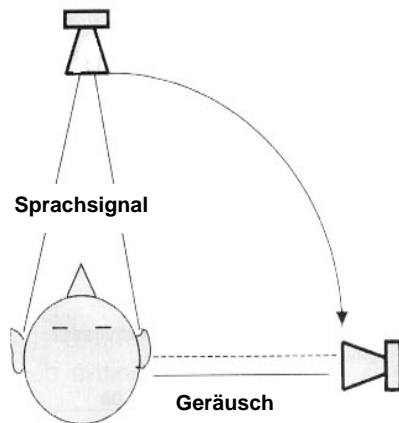
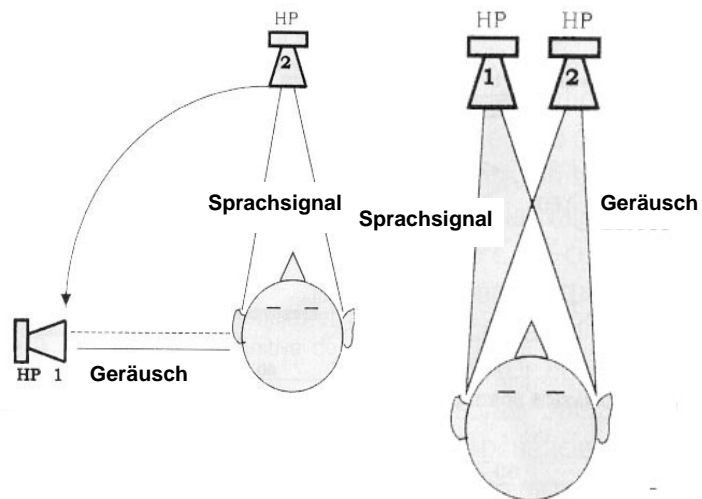


Abbildung 3: Störschall und Sprachsignal im BIRD-Test von verschiedenen Seiten.
(modifiziert nach Vaneecloo)

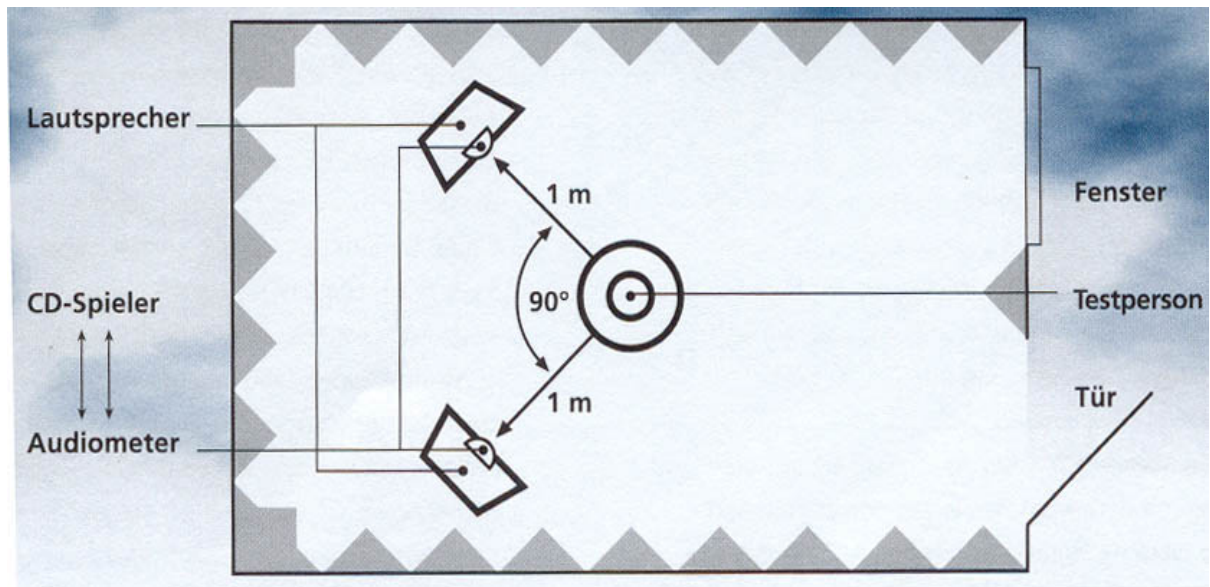


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus des BIRD-Sprachtests (Quelle: BIRD-Handbuch)

In den Messungen mit Störsignal wurde das sprachsimulierende Rauschen bei einem festen Pegel zusätzlich dargeboten. Wie bereits ausgeführt, wurde der Pegel des Sprachsignals während der Messung adaptiv geregelt. Sprach die Testperson weniger als 50% der Wörter in dem dargebotenen Satz richtig nach, so wurde der Pegel für die folgende Darbietung erhöht. Wiederholte der Proband mehr als 50% der Wörter in dem dargebotenen Satz richtig, verringerte die Versuchsleitung den Pegel für die folgende Darbietung. Wiederholte die Testperson gleich 50% der Wörter in dem dargebotenen Satz richtig, so erfolgte die nachfolgende Darbietung mit demselben Pegel.

Wie bereits dargestellt worden ist, ist der Freiburger Einsilbertest für diese Messung nur bedingt geeignet. Für die vorliegende Messung wurde daher der Göttinger Satztest im BIRD-Test eingesetzt. Beim BIRD-Test wird das Signal stets von vorne angeboten und das Störgeräusch wechselnd vorne, links und rechts vom Patienten. Wichtig für das Verständnis des Verfahrens ist die Tatsache, dass das menschliche Ohr mit der Situation Signal und Rauschen von vorne nicht so gut zurechtkommt. Für das Verständnis ist diese Situation ungünstig. Alleine dadurch, dass diese beiden Schallquellen (experimentell) voneinander getrennt werden, verbessert sich das Sprachverständnis.

Bei der Störschall-Messung begann das Rauschsignal als Maskierungssignal jeweils 100 ms vor jedem Satz und endete 100 ms nach jedem Satz. Der Pegel des Störschalls betrug 65 dB. Die Messungen wurden auf dem dafür vorgesehenen Auswertungsbogen eingetragen. Jeder BIRD-Auswertungsbogen zeigt vier der 20 Testlisten von jeweils zehn Sätzen. Die vier Testlisten sind für die vier verschiedenen Messsituationen vorgesehen:

- Sprachsignal in Ruhe von vorn (0°)
- Sprachsignal und Störschall von vorn (0°)
- Sprachsignal von vorn und Störschall von rechts (90°)
- Sprachsignal von vorn und Störschall von links (270°)

3.6.2.3. Der Schalllokalisationstest

Damit der Mensch in seiner täglichen Umwelt auf akustische Reize adäquat reagieren kann, ist die Fähigkeit des auditorischen Kortex wichtig, um einen dreidimensionalen Raum auditorisch analysieren und repräsentieren zu können. Das auditive System ermöglicht diese räumliche Wahrnehmung, indem es die physikalischen Unterschiede zwischen den an beiden Ohren eintreffenden akustischen Informationen auf der Hirnstammebene ermittelt und verrechnet. Denn eine Schallwelle erreicht nicht gleichzeitig beide Ohren. Die Schallwelle einer Schallquelle erreicht ein Ohr früher als das andere Ohr. Entsprechend unterscheiden sich die Zeitpunkte, wann die Haarsinneszellen der Ohren aktiviert werden (Blauert J., 1997). Das auditive System verfügt somit über die interauralen Zeit- und Phasenunterschiede, um akustische Signale im Raum zu lateralisisieren.

Ein weiterer für die Orientierung wichtiger Mechanismus beruht darauf, dass akustische Reize auf dem Ohr, das der lateralisierten Schallquelle zugewandt ist, intensiver gehört werden als auf dem anderen Ohr. Schuld daran ist der Schallschatten, den der Kopf selbst „wirft“: Ist das Eingangssignal auf dem der Schallquelle abgewandten Ohr stärker, entsteht ein interauraler Intensitätsunterschied. Im auditorischen Hirnstamm werden die binauralen Informationen verarbeitet.

Federspil PA et al. (2002) beschreiben das Testverfahren detailliert. Für den Test wird ein schalldicht isolierter Raum benötigt, eine Camera silens. Sieben Lautsprecher sind halbkreisförmig angeordnet in einem Winkel von 30° zwischen den Lautsprechern. Im Mittelpunkt dieser Anordnung befindet sich die Position der sitzenden Testperson mit einem Abstand von einem Meter zu den in Kopfhöhe befindlichen Lautsprechern. Die Testperson soll während der Messung den Kopf nicht drehen. Das soll eventuelle Verfälschungen des Testergebnisses verhindern. Abbildung 5 zeigt den Versuchsaufbau.



Abbildung 5: Versuchsaufbau des Schalllokalisationstests

Der Testablauf erfolgt in der Regel nach einem durchgängigen Prinzip: Aus einem der sieben Lautsprecher erfolgt ein zwei Sekunden langes Rauschen in einer festgelegten dB-Zahl, etwa 65 dB. Die Testperson muss dieses Rauschen nun unter der Angabe einer Lautsprecher Nummer (eins bis sieben) lokalisieren. Insgesamt besteht die Testreihe aus sieben Messungen, bei der in jeder Messung alle Lautsprecher einmal angewählt werden. Somit werden dem Patienten insgesamt 49 überschwellige akustische Reize in Form von

sprachsimulierendem Rauschen vorgespielt, und zwar in einer zuvor randomisierten, aber für jeden Patienten identischen Reihenfolge (Federspil PA et al., 2002). Eine Verfälschung der Testergebnisse durch das Erkennen eines bestimmten Abfolge-Musters in der Lautsprecherbelegung wird somit verhindert.

Mit Hilfe der Messergebnisse wird sodann für jeden Lautsprecher eine Soll-Ist Differenz bestimmt: „Soll“ ist der angewählte Lautsprecher, „Ist“ der von der Testperson angegebene Lautsprecher. Die Soll-Ist Differenz wird multipliziert mit dem Winkelabstand von 30° zwischen den verschiedenen Lautsprechern. Dies ergibt die Winkeldifferenz zwischen subjektiv gehörtem und objektiv vorhandenem Rauschen für jeden einzelnen Lautsprecher. Für jede Lautsprecherposition wird somit die absolute Abweichung in Winkelgraden ermittelt. Normalhörige junge Erwachsene erzielen in dieser Anordnung 0 Grad Fehllokalisation in allen Lautsprecherpositionen.

Bei der Auswertung gilt der Mittelwert einer Testreihe als die mittlere Abweichung in Grad zwischen der von der Testperson angegebenen Lokalisation des Rauschens und der tatsächlichen Lokalisation. Weiterhin ermöglicht die Betrachtung der Testergebnisse eines einzelnen Lautsprechers die Schlussfolgerung, welche räumliche Lokalisation – etwa Störgeräusch von rechts - besonders häufig falsch bestimmt wurde. Um Rückschlüsse über das räumliche Lokalisationsvermögen ziehen zu können, werden die Testergebnisse graphisch aufgearbeitet: Jeder einzelne Lautsprecher wird dabei in Bezug auf die jeweilige Winkelabweichung betrachtet. Die Versuchsleitung trägt die während der Testdurchführung erhobenen Werte in ein standardisiertes Formular ein.

4. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse werden unterschieden in Untersuchungen an Patienten, die ein- oder beidseitige Hörstörungen aufweisen, und an Patienten mit einseitiger Taubheit.

4.1. Ergebnisse bei Patienten mit ein- oder beidseitiger Schwerhörigkeit

4.1.1. Tonaudiometrische Ergebnisse

4.1.1.1. Tonaudiometrie

Zu den ersten Tests gehörte der tonaudiometrische Vorher-Nachher-Vergleich derjenigen Patienten, die vorher mit einem konventionellen Knochenleitungshörgerät ausgestattet waren und nun ein BAHA trugen (Abbildung 6). Insgesamt wurden 10 Probanden mit beidseitigen Hörstörungen in diese Testreihe aufgenommen. Sie umfasste bei jedem Patienten die Durchführung der Tonaudiometrie, wobei in einem ersten Durchgang die Aufblähkurve mit dem alten Hörgerät erfolgte und in einem nächsten Durchgang die Aufblähkurve mit BAHA (Abbildung 6). Die Signifikanzprüfung erfolgte mittels Konfidenzintervall auf 95-%-Niveau. Der Unterschied ist in mehreren Frequenzbereichen signifikant. Das Audiogramm – horizontale x-Achse 0,25-6 kHz, vertikale y-Achse mittlerer Hörverlust in dB, weist in diesem Fall vier Kurven auf: die Luftleitung, die der Innenohrleistung entsprechende Knochenleitung, die Aufblähkurve für das BAHA und die Aufblähkurve für das vorher getragene Knochenleitungshörgerät. Gut sichtbar in Abbildung 6 ist der grössere Unterschied bei 250 Hz und im Bereich von 6000 Hz.

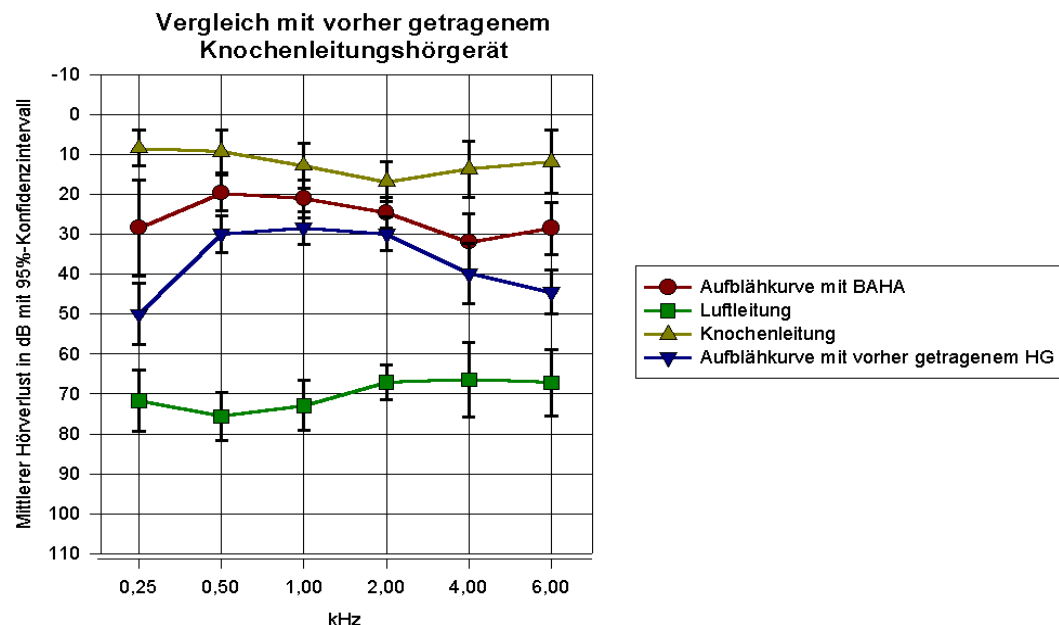


Abbildung 6: Audiogramm – Vergleich BAHA mit vorher getragenen Knochenleitungshörgerät.

Rechte und linke Seite unterscheiden sich in der konventionellen Audiometrie nicht, was den Hörqualitäts-Zuwachs mit dem BAHA ganz allgemein betrifft. 30 Probanden mit beidseitigen Hörstörungen wurden in den Testlauf einbezogen, der den Unterschied zwischen Luftleitung und BAHA-Versorgung aufzeigen sollte. Zum Vergleich wurde in die Audiometrie die Kurve für die Knochenleitung, die der Innenohrleistung entspricht, mit aufgenommen (Abbildungen 7 und 8). Die Abbildungen zeigen deutlich, dass die Aufblähkurve des BAHA bei 1000 und 2000 Hz besonders nahe an die Knochenleitungskurve heranragt, während der Abstand zwischen Luftleitung und BAHA-Kurve sehr groß ist. Der durchschnittliche Hörverlust der Luftleitungskurve liegt im Mittel bei 68 dB, während die Aufblähkurve mit BAHA im Mittel nur 30 dB beträgt. Die Knochenleitung liegt im Mittel bei 13 dB.

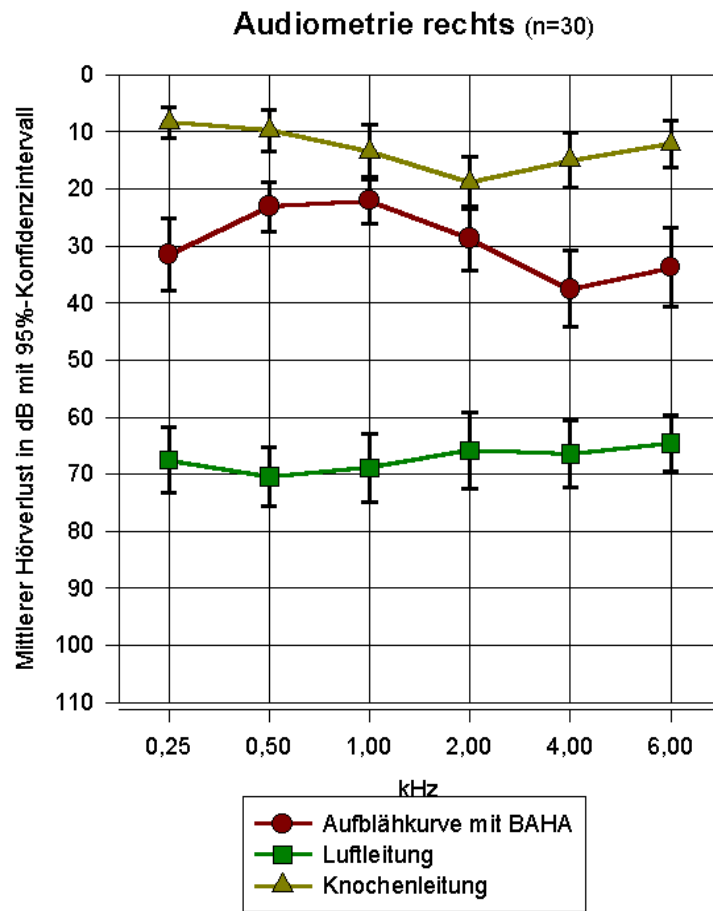


Abbildung 7: Aufblähkurve mit BAHA rechts in der konventionellen Audiometrie bei 30 Patienten mit beiderseitiger BAHA-Versorgung

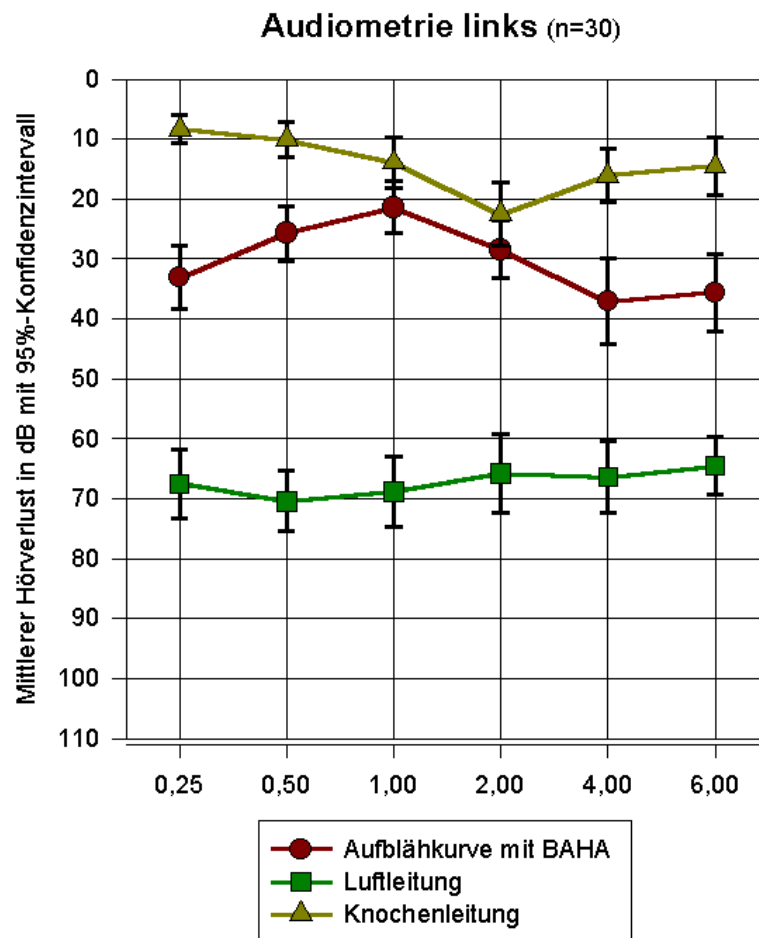


Abbildung 8: Aufblähkurve mit BAHA links in der konventionellen Audiometrie bei 30 Patienten mit beiderseitiger BAHA-Versorgung

4.1.1.2. Unterschiede der Hörminderungs-Ursachen

Es liegt nahe, dass das knochenverankerte Hörgerät bei manchen Hörminderungen mehr Vorteile bringt als bei anderen. Insgesamt wurden 16 Probanden mit chronischer Otitis media in die Testreihe aufgenommen. Sie umfasste bei jedem Patienten die Durchführung und Auswertung des Tonaudiogramms mit Aufblähkurve (Abbildung 9). Es zeigte sich, dass gerade bei den Otitiden die BAHA-Aufblähkurve ganz nahe an die Knochenleitungs-Kurve herankommt. Besonders im Bereich 1000 und 2000 Hertz ermöglicht das knochenverankerte Hörgerät eine deutliche Hörverbesserung. Die Knochenleitungsschwelle liegt bei den Otitiden im Mittel bei 30 dB, wobei sie im

Bereich 2000 und 4000 Hz deutlich abfällt, bei 2000 Hz sogar auf 41 dB. Da die BAHA-Aufblähkurve, die im Mittel bei 44 dB Hörverlust liegt, bei 1000 Hz aber bei 38 dB und bei 2000 Hz bei 43 dB, wird gerade dieses Defizit durch das BAHA sehr gut ausgeglichen. Die Luftleitungsschwelle liegt bei den Otitiden durchschnittlich bei 76 dB.

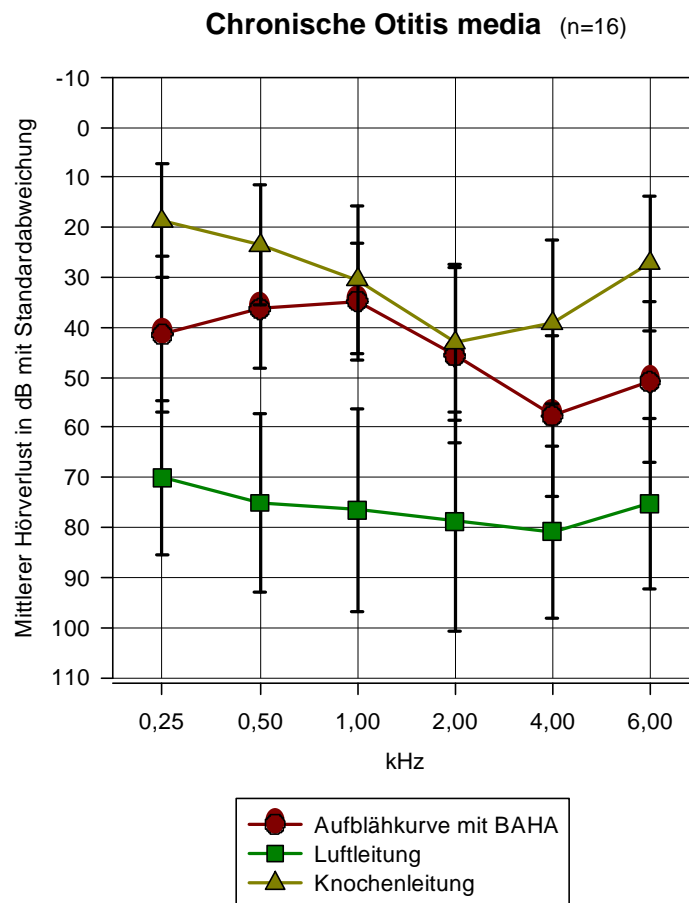


Abbildung 9: Audiogramm mit BAHA-Aufblähkurve bei chronischer Otitis media.

Bei der größten Gruppe des Patientenkollektivs, bei der Fehlbildungen des Ohres vorliegen, ist die Knochenleitungsstörung geringer, das heißt, die Innenohrleistung ist in der Regel besser als die der Probanden mit chronischer Otitis media. Insgesamt wurden 38 Probanden mit Ohrfehlbildungen in die Testreihe aufgenommen. Sie umfasste bei jedem Patienten die Durchführung und Auswertung eines Tonaudiogramms mit BAHA Aufblähkurve (Abbildung

10). Die Knochenleitungsschwelle beträgt im Durchschnitt 13 dB, die BAHA-Aufblähkurve, die die Hörschwelle mit dem knochenverankerten Hörgerät verdeutlicht, liegt im Mittel bei 28 dB. Zum Vergleich: Bei den Otitiden liegt sie bei 44 dB. Wie dort kommt die BAHA-Aufblähkurve auch im Frequenzbereich 1000 und 2000 Hz am nächsten an die Knochenleitungskurve heran. Die Luftleitungskurve liegt bei den Ohrfehlbildungen bei 68 dB und ist damit etwas weniger ausgeprägt als bei den Otitiden.

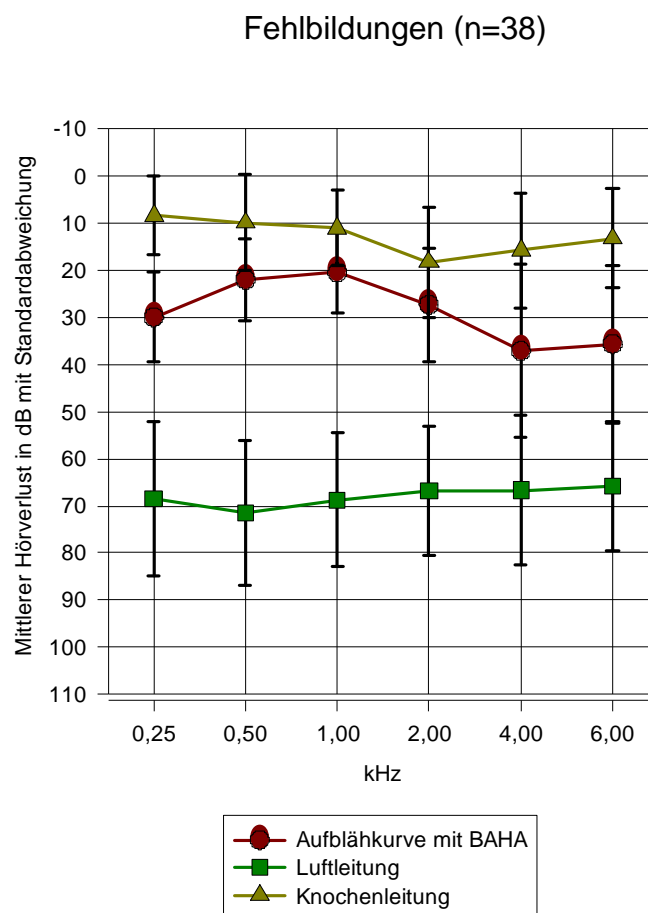


Abbildung 10: Audiogramm mit BAHA-Aufblähkurve der Ohrfehlbildungen.

4.1.2. Sprachaudiometrische Ergebnisse

4.1.2.1 Versorgung mit einem BAHA

Zu den wichtigsten Zielen dieser Arbeit zählt die Beurteilung der bilateralen BAHA-Versorgung. Ein wesentlicher Vergleich war daher das Gegenüberstellen einseitiger mit beidseitiger Versorgung. Insgesamt wurden 14 Probanden mit beidseitigen Hörstörungen in die Testreihe aufgenommen. Sie umfasste bei jedem Patienten den Freiburger Sprach-Test mittels Einsilberverständlichkeit. Die Signifikanzprüfung erfolgte mittels Konfidenzintervall auf 95-%-Niveau. Die Probanden trugen in einem Testdurchlauf lediglich ein BAHA, und zwar auf der besser hörenden Seite, und im nächsten Durchlauf BAHAs auf beiden Seiten. Auf der horizontalen Achse wurde die Dezibelgabe vermerkt, auf der vertikalen Achse die Verständlichkeit in Prozent (Abbildung 11). Die 50-%ige Verständlichkeit wird bei nur einseitiger Versorgung bei rund 55 dB erreicht.

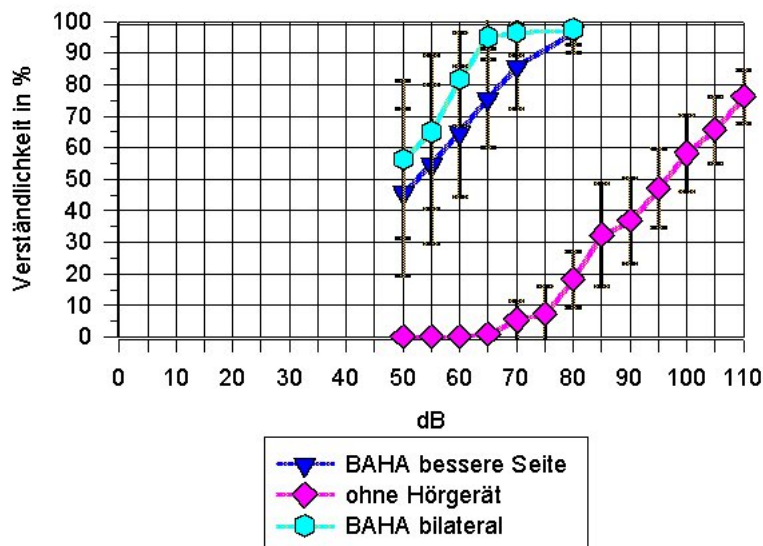


Abbildung 11: Verbesserung der prozentualen Verständlichkeit bei einseitiger vs. beidseitiger Versorgung mit BAHA in Ruhe.

Derselbe Test wurde auch im Störschall durchgeführt. In die Grafik (Abbildung 12) wurde die Kurve der einseitigen Versorgung ohne Störschall miteinbezogen.

Im Störgeräusch sinkt die Einsilberverständlichkeit mit nur einem BAHA deutlich ab. Liegt die Verständlichkeit mit einem BAHA ohne Störlärm bei einer Dezibelgabe von 50 bei über 40 Prozent, lässt der Störschall hier gerade einmal knapp über zehn Prozent Verständlichkeit zu.

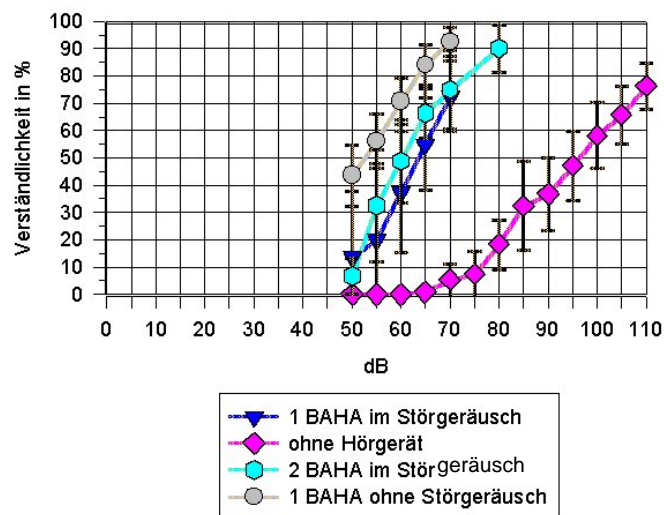


Abbildung 12: Prozentuale Sprachverständlichkeit bei einseitiger vs. beidseitiger BAHA-Versorgung im Störschall und mit einem BAHA ohne Störgeräusch.

4.1.2.2. Versorgung mit BAHA beiderseits

Deutlich verbessert sich die 50-%ige Verständlichkeit in Ruhe mit zwei BAHAs, nämlich um über 5 dB (Abbildung 11). Auch hier zeigt sich im Störschall ein wesentlicher Unterschied zwischen ein- und beidseitiger Versorgung. Während die Einsilberverständlichkeit mit nur einem BAHA, wie in Abbildung 12 skizziert, deutlich absinkt, wird die 50-%ige Verständlichkeit mit zwei BAHAs im Störgeräusch wieder besser, und zwar verbesserte sie sich um rund 4 dB. Ganz ohne Hörgerät liegt die Verständlichkeit bei einer Lautstärke von 70 dB noch nicht einmal bei 10 Prozent.

4.1.3. Schalllokalisationstest

Die Vorgehensweise beim Test des Richtungshörens ist bereits ausführlich erläutert worden. Insgesamt wurden 20 Probanden mit beidseitigen Hörstörungen und beidseitiger BAHA-Versorgung in die Testreihe aufgenommen. Sie umfasste bei jedem Patienten die Durchführung des Schalllokalisationstests. Die Signifikanzprüfung erfolgte mittels Konfidenzintervall auf 95-%-Niveau. Die Probanden trugen bei einem Testdurchlauf das BAHA auf der linken Seite, beim nächsten Durchlauf auf der rechten und schließlich beidseitig.

Die Abbildungen 13 sowie 14 zeigen die Ergebnisse. Die gemittelten absoluten Winkelabweichungen bei 20 ein- oder beidseitig mit BAHA versorgten Patienten werden dargestellt. Die Fehlerbalken bezeichnen das 95-%-Konfidenzintervall. Die blaue Kurve entspricht den Antworten, wenn die Probanden nur auf der linken Seite mit dem BAHA versorgt waren, die rote Kurve zeigt entsprechend die Antworten bei der rechtsseitigen BAHA-Versorgung. Die grüne Kurve entspricht den Antworten bei beidseitiger BAHA-Versorgung.

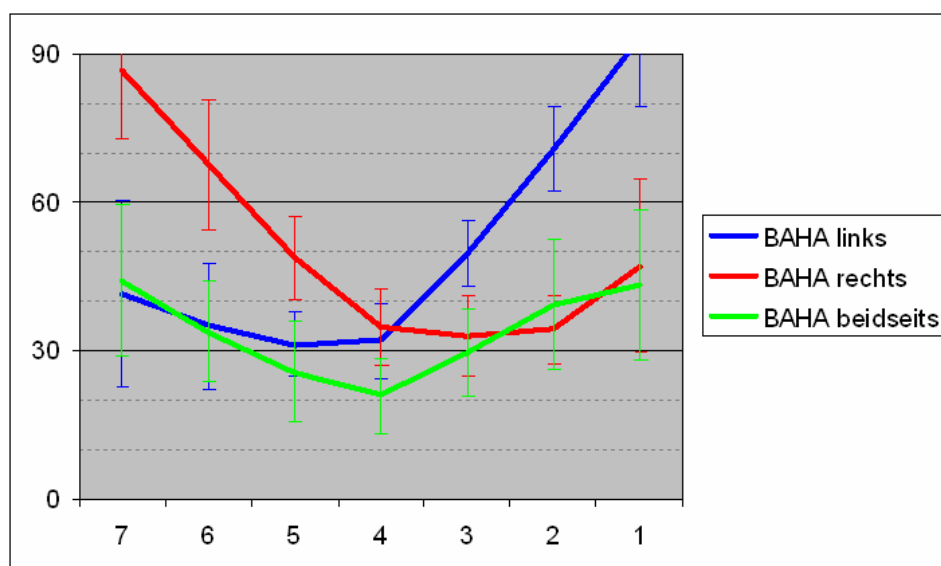


Abbildung 13: Mittelwerte des Schalllokalisationstests bei 20 Probanden links, rechts oder beiderseitig mit BAHA versorgt.

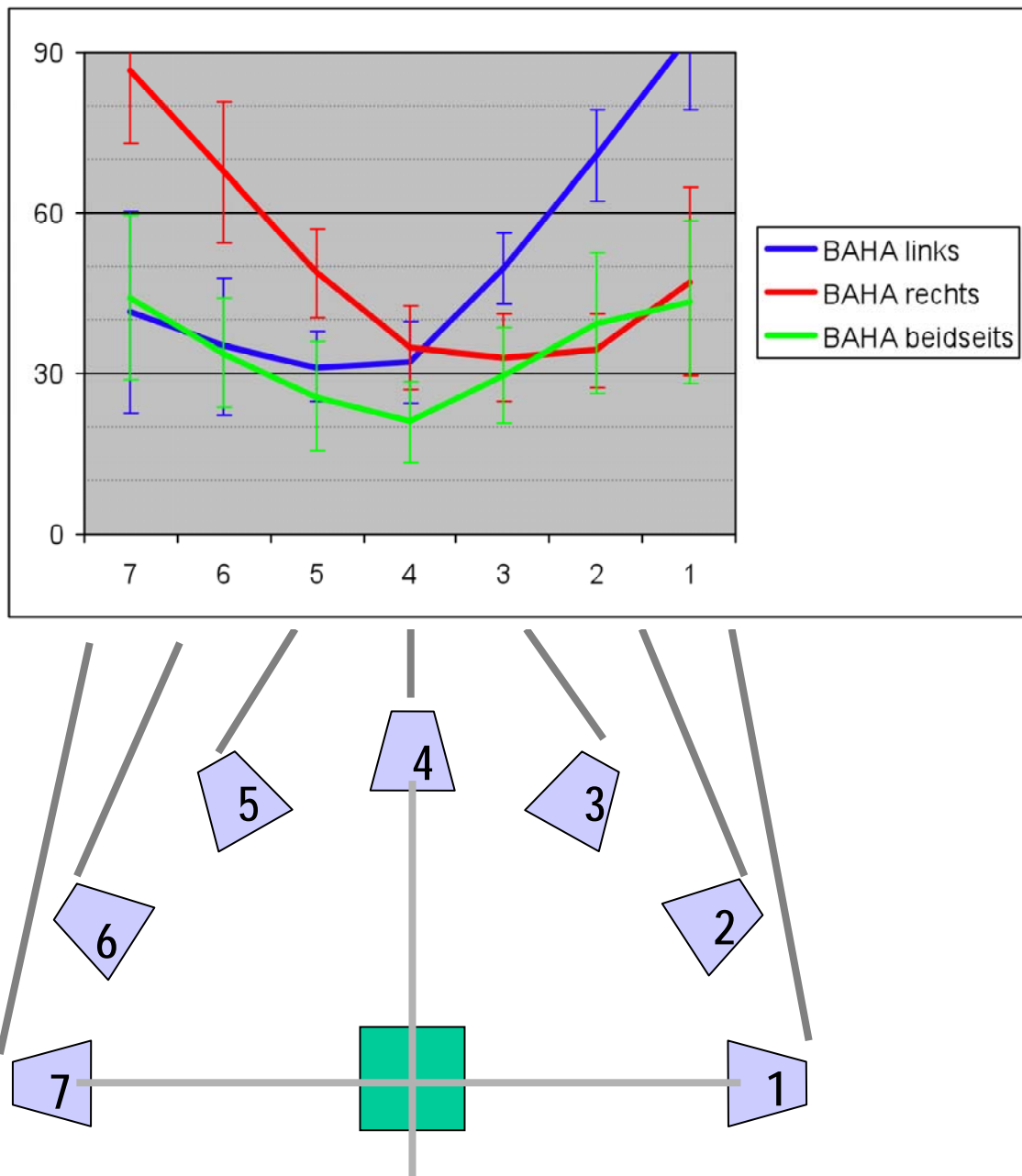


Abbildung 14: Schalllokalisationstest: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus und der Ergebnisse

Die Probanden, die an diesem Testlauf teilnahmen, tragen normalerweise auf beiden Ohren ein BAHA. Wenn sie nun lediglich ein BAHA trugen, dann lokalisierten sie auf dieser versorgten Seite mit einem durchschnittlichen Fehler von 40 Grad, in der Graphik zu erkennen am linken Teil der blauen und am rechten Teil der roten Kurve. Diese Bereiche liegen im Winkelbereich von 40 Grad. Dies entspricht einer einigermaßen guten Lokalisation. Am steil ansteigenden beziehungsweise abfallenden Teil der Kurve lässt sich jedoch ablesen, dass auf der unversorgten Seite sehr schlecht lokalisiert wurde. Der Fehlerwinkel beträgt bis zu 90 Grad. Das heißt: Auf der Seite, auf der die Probanden das BAHA trugen, konnten sie recht gut zuordnen, von welchem der einzelnen Lautsprecher das Signal kam, aber die Signale von den Lautsprechern auf der Ohrseite ohne BAHA lokalisierten sie sehr schlecht.

Eine weiter signifikante Verbesserung der Lokalisation ergab sich, wenn die Probanden auch ihr zweites BAHA trugen. Die Kurve ist ausgeglichen, die Schalllokalisation ist in der Position von vorne am besten, aber auch an den beiden Seiten im 40er-Bereich. Sowohl in der frontalen Situation sowie auf der zuvor unversorgten Situation verbesserte sich die Lokalisation gemittelt auf lediglich 20 Grad Fehlerwinkel.

4.1.4. BIRD-Test

Da es relevant ist, von welcher Seite das Störgeräusch im BIRD-Test dargeboten wird unterscheidet der Untersucher hier ganz genau. Wie in den Abbildungen 4 und 5 aufgezeigt, wird das Störgeräusch zunächst von links dargeboten, während die Sprache immer von vorne kommt. Im nächsten Durchgang kommen Störgeräusch sowie Sprachsignale von vorne, während abschließend der Störschall von rechts dargeboten wird. Besonders, wenn der Störschall von der Seite kommt, weisen ein- und beidseitige Versorgung einen großen Unterschied auf. Insgesamt wurden 13 Probanden mit beiderseitiger BAHA-Versorgung in die Testreihe aufgenommen. Das entsprechende Patientenkollektiv setzte sich wie folgt zusammen: 6 Probanden litten unter einer kombinierten Schwerhörigkeit beiderseits, 5 unter einer beidseitigen

Schallleitungsschwerhörigkeit, 1 Proband unter einer beidseitigen Innenohrschwerhörigkeit und 1 Patient unter hereditärer Ohrmuschelaplasie mit Gehörgangsatresie und begleitender Mittel- sowie Innenohranomalie beiderseits. Der SVS (**S**chwellenpegel für das **V**erstehen von **S**prache) in Ruhe wird definiert als der dB-Wert, bei dem die Testperson 50 Prozent der dargebotenen Sprache versteht. Man unterscheidet zwischen absolutem und relativem SVS. Die gemessenen absoluten SVS in Ruhe oder mit Störschall können mit den Daten für Normalhörende verglichen werden (Tabelle 1). Wenn hingegen 2 BIRD Messungen durchgeführt werden, welche sich nur in einer Konfigurationsgrösse unterscheiden (z.B. ohne Hörgerät-mit Hörgerät, monaural-binaural, etc.) so ergibt die Differenz der SVS einen relativen SVS. Der relative SVS kann mit einer prozentualen Änderung in der Sprachverständlichkeit korreliert werden. Der BIRD-Test erlaubt damit direkt zu verdeutlichen, welchen Vorteil eine beidohrige Versorgung mit Hörgeräten gegenüber einer einseitigen hat.

Im Hinblick auf das oben aufgeführte Patientenkollektiv wurde primär der SVS in Ruhe ermittelt. Der SVS in Ruhe mit beidseitiger BAHA-Versorgung lag minimal bei 36 dB, maximal bei 56 dB, der Mittelwert bei etwa 44 dB, d.h. im Mittel haben die Probanden 50% der dargebotenen Wörter bei 44 dB HL in Ruhe verstanden. Der SVS in Ruhe bei einseitiger Versorgung mit BAHA links lag im Mittel bei etwa 49 dB, derjenige in Ruhe bei einseitiger Versorgung mit BAHA rechts bei ebenfalls etwa 49 dB. Interessanter und aussagekräftiger vor dem Hintergrund der Fragestellung war der SVS im Störschall welcher als das Verhältnis in dB zwischen dem Pegel des Sprachsignals und dem Pegel des Störschalls (im allgemeinen 65 dB) ermittelt wird (sogenannte signal-to-noise ratio=SNR).

Folgende SVS im Störschall (SNR) konnten experimentell ermittelt werden:

Untersuchungssituation	SVS-Differenz im Störschall in dB
BAHA links vs BAHA bds. Rauschen 0 Grad	0,67
BAHA links vs BAHA bds. Rauschen 270 Grad	3,79
BAHA links vs BAHA bds. Rauschen 90 Grad	-1,52
BAHA rechts vs BAHA bds. Rauschen 0 Grad	0,63
BAHA rechts vs BAHA bds. Rauschen 270 Grad	0,44
BAHA rechts vs BAHA bds. Rauschen 90 Grad	3,21

Wie in der Tabelle aufgeführt und in Anlehnung an den Versuchsaufbau des BIRD-Tests wurden die Konfigurationsgrößen BAHA links bzw. rechts mit BAHA bds. verglichen. Je höher der Wert des SVS im Störschall liegt, desto besser ist das Sprachverständnis. Exemplarisch betrachten wir die Situation BAHA links vs. BAHA bds. Die Konstellation BAHA rechts vs. BAHA bds. ergab identische Tendenzen.

Das Sprachsignal kommt immer von vorne. In dem Fall wo nur das linke BAHA getragen wird und der Störschall von links eingespielt wird ergibt sich ein SVS im Störschall von 3,79 im Vergleich zu der beiderseitigen BAHA Versorgung. Dies verdeutlicht, dass im Fall einer beidseitigen Schwerhörigkeit das zweite BAHA, welches vom Störlärm abgewendet ist, zu einer signifikanten Verbesserung der Sprachverständlichkeit führt. Die Verbesserung ist geringer bei Störlärm aus 0 Grad aber dennoch signifikant. Wird der Störschall jedoch von 90 Grad eingespielt, somit von rechts, und der SVS in Störschall BAHA links mit BAHA bds verglichen, so verschlechtert sich der Wert für die beiderseitige Versorgung. Dies kommt dadurch zustande da in dieser Konstellation, falls das Rauschen von rechts kommt, die einseitig linke BAHA-Versorgung in gewisser Weise eine protektive Wirkung hat, insbesondere da

die Patienten rechts auch schwerhörig waren und somit das Rauschen weniger wahrgenommen haben.

Zusammenfassend konnte ermittelt werden, dass eine signifikante Verbesserung der Sprachverständlichkeit bei Störlärm vorliegt, insbesondere dann wenn Sprachquelle und Störsignal räumlich voneinander getrennt sind.

4.2. Ergebnisse bei Patienten mit einseitiger Taubheit

Bei der einseitigen Taubheit ist, wie der Name schon sagt, ein Ohr komplett ertaubt. Nicht selten ist bei solchen Patienten auch die Hörleistung des gegenüberliegenden Ohres gemindert. Die BAHA-CROS-Technik – wobei CROS für „Contralateral Routing of Signals“ steht – wurde eingangs schon erläutert. Bei dieser Versorgung wird der Schall von der tauben Seite auf die normalhörende oder zumindest bessere Seite umgeleitet. Wird der Schall beispielsweise von der ertaubten linken Seite nach rechts übergeleitet, so nimmt der Patient sämtliche Schallereignisse auf dem rechten Ohr wahr, auch wenn ihn jemand direkt von der linken Seite anspricht. Das Patientenkollektiv beinhaltete sieben einseitig ertaubte Probanden, die mit einem BAHA-CROS versorgt wurden. Bei ihnen wurde die Tonaudiometrie, der Freiburger-Test sowie der Schalllokalisationstest durchgeführt. Exemplarisch werden die Testergebnisse von 5 Patienten aufgeführt die jeweils einseitig ertaubt auf einer Seite sind und unterschiedliche Pathologien auf der Gegenseite vorweisen.

Ein für einen einseitig tauben Patienten typisches Ergebnis im Schalllokalisationstest lässt sich in Abbildung 15 ablesen. Die zum Untersuchungszeitpunkt 56-jährige Frau ist auf dem rechten Ohr ertaubt. Die blaue Kurve zeigt ihre Schalllokalisation ohne das BAHA-CROS. Auf der linken, hörenden Seite lokalisiert die Patientin mit einem durchschnittlichen Fehlerwinkel von 35 Grad recht gut, auf der nicht hörenden rechten Seite lokalisiert sie sehr schlecht. Die rote Kurve demonstriert ihre Fähigkeit, die Lautsprecher richtig zu orten, wenn sie das BAHA-CROS trägt. Die Schalllokalisation verbessert sich nur unwesentlich. Bis auf den an der zweiten

Position rechts stehenden Lautsprecher lokalisiert sie mit BAHA-CROS mit einem ähnlichen Fehlerwinkel wie ohne BAHA-CROS. Die Schallsignale auf der linken hörenden Seite lokalisiert sie sogar um einige Fehlerwinkel schlechter als ohne CROS-Versorgung. Im Gesamtdurchschnitt lokalisiert sie ganz ohne BAHA mit einem Fehlerwinkel von 45 Grad und mit dem BAHA allein auf der linken Seite mit 44 Grad.

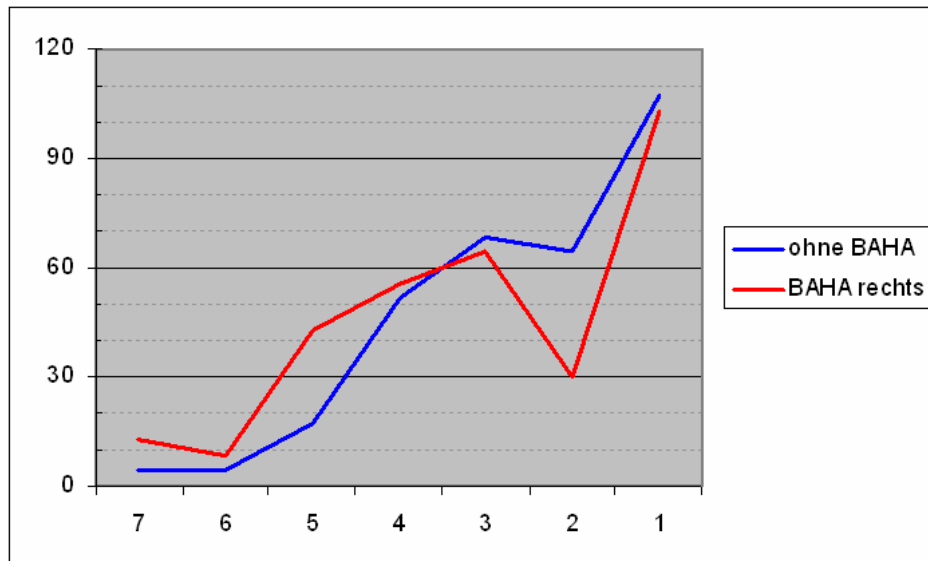


Abbildung 15: Exemplarischer Schalllokalisierungstest bei einem mit BAHA-CROS versorgten Patienten.

Ein anderer Effekt zeigte sich in der audiometrischen Messung der Sprachverständlichkeit in Prozent. Hier erhöhte sich die Sprachverständlichkeit mit BAHA-CROS gegenüber ohne signifikant. Während die 50%-Sprachverständlichkeitsschwelle ohne CROS-Versorgung erst bei einer Dezibelgabe von rund 65 erreicht war, lag der 50%-Hörwert mit BAHA-CROS bereits bei 40 Dezibel.

Kennzeichnend ist, dass die Patienten unterschiedliche Befunde auf dem hörenden Ohr präsentieren, wohingegen sie allesamt auf der Gegenseite komplett ertaubt sind. Exemplarisch seien hier die Ergebnisse von fünf der sieben Patienten aufgeführt.

Eine 49jährige Patientin, Frau C.S. erlitt auf der rechten Seite eine Ertaubung durch ein Cholesteatom. Auf dem linken hörenden Ohr lag eine Normalhörigkeit vor. Die Abbildung 16 zeigt das Tonaudiogramm.

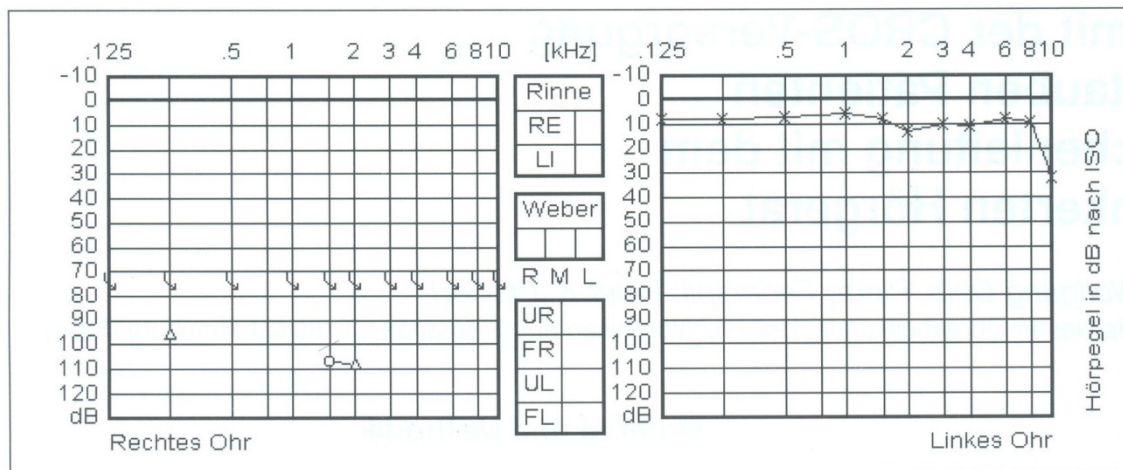


Abbildung 16: Tonaudiogramm Frau C.S., Ertaubung rechts durch Cholesteatom

Eine Versorgung mit einem knochenverankerten Hörgerät (BAHA Classic 300) wurde 2 Monate später im Januar 2000 auf der ertaubten Seite durchgeführt. Rein subjektiv ist die Patientin mit dieser Versorgung sehr zufrieden, fühlt sich im Alltag deutlich sicherer und gab an ihr Hörgerät täglich über 14 Stunden zu tragen. Neben der subjektiven Verbesserung bestätigte die Sprachaudiometrie im Störgeräusch eine signifikante Zunahme des Einsilberverständnisses (Abbildung 17). Der Signal-Rausch-Abstand (50%-iges Einsilberverständnis) erhöhte sich im Freiburger Test um 10 dB. Bei der Lokalisationsprüfung hingegen lag der mittlere Fehlerwinkel sowohl mit als auch ohne Hörgerät bei 45 Grad. Rein subjektiv gab die Patientin dennoch eine Verbesserung der räumlichen Orientierung an.

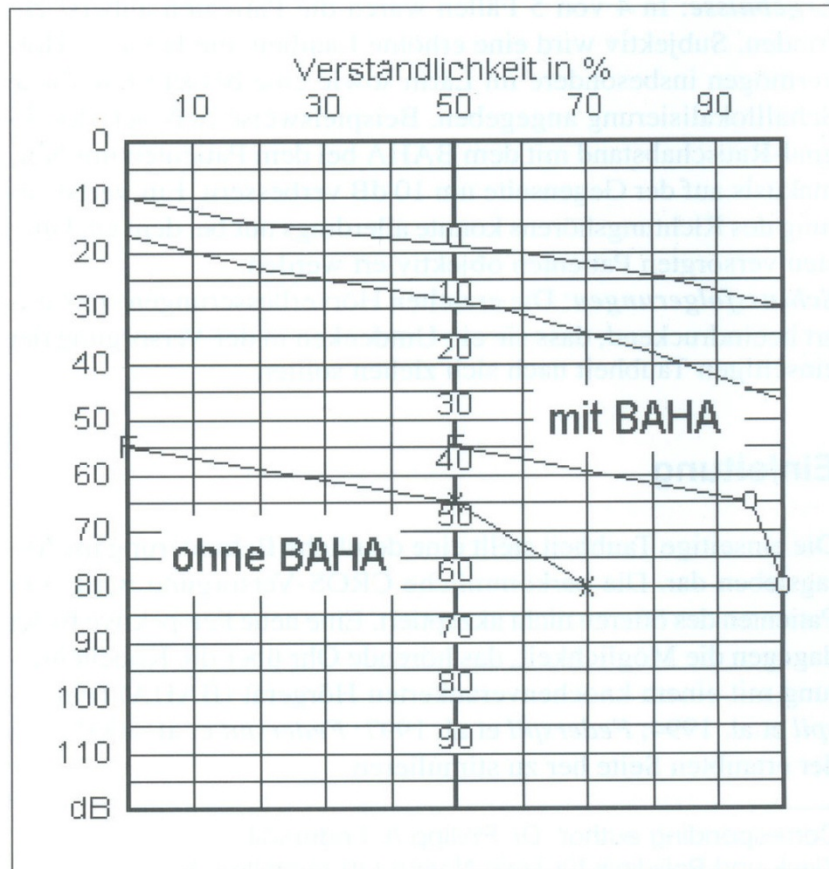


Abbildung 17: Sprachaudiogramm Frau C.S., Freifeldmessung im Störschall (Breitbandrauschen 50 dB) ohne und mit knochenverankertem Hörgerät (BAHA) rechts.

Ein weiterer Patient, Herr H.H., ein 62-jähriger Mann litt unter einer sensorineuralen Schwerhörigkeit auf dem hörenden rechten Ohr. Aufgrund einer kombinierten Schwerhörigkeit nach ohrsanierender Operation mit Anlage einer Radikalhöhle wurde er bereits 1991 mit einem knochenverankerten Hörgerät auf der linken Seite versorgt. Auf dem hörenden Ohr bestand eine Hochtonsenke bis 60 dB. Während des weiteren klinischen Verlaufs entwickelte sich links eine komplette Ertaubung, somit liegt formal gesehen eine CROS-Versorgung mit knochenverankertem Hörgerät vor (Abbildung 18). Der Signal-Rausch-Abstand (50% Einsilberversandnis) erhöhte sich im Sprachaudiogramm in der Freifeldmessung im Störschall um rund 5 dB (Abbildung 19). Aus psychologischen Gründen wird das knochenverankerte Hörgerät dennoch seit 1999 nicht mehr getragen.

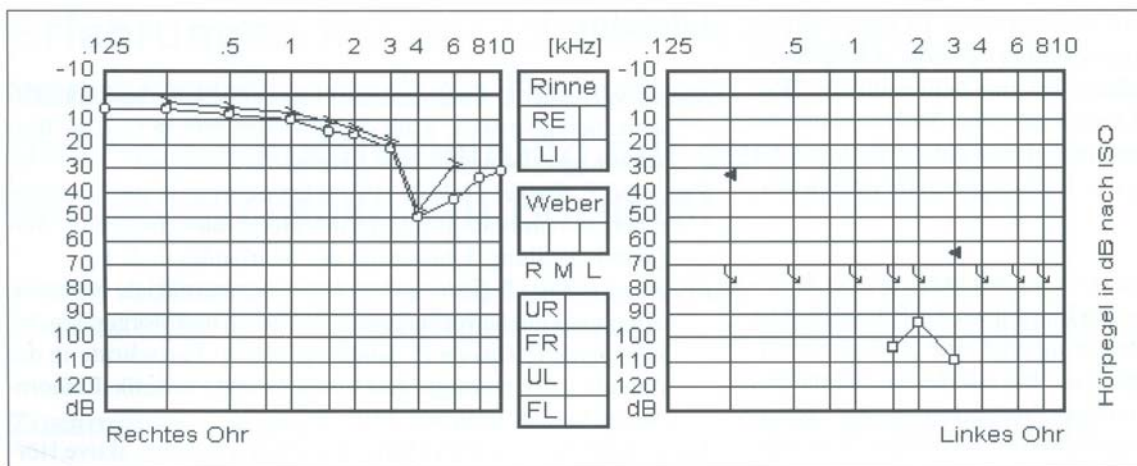


Abbildung 18: Tonaudiogramm Herr H.H. Ertaubung links

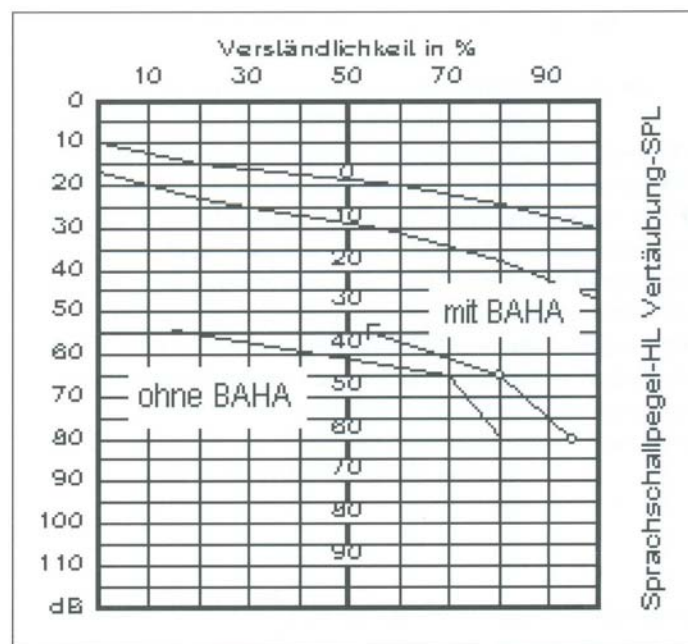


Abbildung 19 : Sprachaudiogramm Herr H.H., Freifeldmessung im Störschall (Breitbandrauschen 50 dB) ohne und mit knochenverankertem Hörgerät (BAHA) links

Bei einem 65jährigen Mann, Herr J.A., wurde 1967 eine Ohradikaloperation links wegen eines Cholesteatoms vorgenommen. Auf der gleichen Seite ertaubte er 1999. Nach rezidivierenden Hörstürzen auf der rechten Seite

besteht eine sensorineurale Schwerhörigkeit mit einem Abfall im Mitteltonbereich zwischen 30 und 40 dB sowie einem Schrägabfall im Hochtonbereich, welche mit einem HdO-Gerät versorgt wurde. In Anbetracht der Innenohrschwerhörigkeit rechts wurde im August 2000 eine Versorgung der ertaubten Seite mittels dem Taschengerät BAHA Cordelle II durchgeführt. Im Vergleich mit der alleinigen HdO-Versorgung des linken Ohres wurde das Einsilberversständnis mit dem Cordelle II um bis zu 5 dB verbessert. Im Schalllokalisationstest lag der Fehlerwinkel bei 76 Grad mit dem HdO Gerät alleine. Diesbezüglich ergab sich mit dem Cordelle II keine signifikante Verbesserung. Der Fehlerwinkel lag hier bei 78 Grad.

Ein 43-jähriger Mann, Herr C.S., der wegen einer beiderseitigen chronischen Otitis media mit Cholesteatom sechsmal voroperiert war, ertaubte im Verlauf auf der rechten Seite. Auf dem hörenden Ohr lag somit eine kombinierte Schwerhörigkeit vor. Im November 1989 wurde das rechte Ohr nachoperiert und mit einem knochenverankerten Hörgerät versorgt, zuerst mit dem BAHA HC 220, anschliessend dann mit dem BAHA Cordelle II. Im Anschluss erfolgte nach 4 Monaten der 2. Schritt zur Fixierung des Hörgerätes rechts sowie die Nachoperation des laufenden linken Ohres mit Anbringung des Implantates für ein knochenverankertes Hörgerät (primär BAHA HC 200, anschliessend BAHA Classic 300). Mit dem zusätzlichen Cordelle II rechts im Vergleich zu dem BAHA Classic 300 alleine links wurde das Einsilberversständnis im Störgeräusch um bis zu 5 dB verbessert. Der BIRD-Sprachtest zeigte eine Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes in der 0 Grad Situation um 3,8 dB und in der 270 Grad Position, einem Störgeräusch auf der hörenden Seite entsprechend, von beachtlichen 6,3 dB. In der Lokalisationsprüfung mit dem BAHA Classic 300 auf der linken Seite alleine lag der Fehlerwinkel bei 78 Grad. Eine Verbesserung auf einen Fehlerwinkel von 41 Grad konnte mit dem zusätzlichen BAHA Cordelle II demonstriert werden.

Der fünfte hier aufgeführte einseitig rechts ertaubte Patient seit einer Felsenbeinfraktur 1985, Herr H.W., litt auf dem laufenden linken Ohr unter einer kombinierten Schwerhörigkeit mit einer pantonalen Innenohrkomponente von

20 dB und einer Schallleitungskomponente von 30 dB. Aufgrund des linksseitigen Ohrlaufens und Problemen mit dem HdO-Gerät wurde im Juni 1999 eine Versorgung mit einem knochenverankertem Hörgerät links (BAHA Classic 300) und im Oktober des gleichen Jahres eine CROS-Versorgung rechts mittels BAHA Classic 300 durchgeführt. Das Einsilberversständnis im Freiburger Sprachtest zeigte eine Verbesserung im Störgeräusch um bis zu 3 dB mit dem zusätzlichen BAHA Classic 300 rechts im Vergleich zum alleinigen Classic 300 links. Der BIRD-Sprachtest zeigte eine Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes in der 0 Grad Situation um 3,3 dB und in der 270 Grad Position (Störgeräusch auf der hörenden Seite) um 3,6 dB. Im Schalllokalisationstest konnte keine wesentliche Verbesserung des mittleren Fehlerwinkels nachgewiesen werden (88 Grad Fehlerwinkel mit BAHA links, 78 Grad mit BAHA beiderseits).

5. DISKUSSION

5.1. Diskussion der Ergebnisse bei Patienten mit ein- oder beidseitiger Schwerhörigkeit

Die Knochenleitung ist bei medizinischen Laien weitestgehend unbekannt. Patienten werden allenfalls bei der Hörprüfung oder bei der Indikation eines Knochenleitungshörgerätes mit der Tatsache konfrontiert, dass der Mensch die eigene Stimme etwa zu gleichen Anteilen über Luft- und Knochenleitung wahrnimmt. Spricht ein Mensch, so nimmt der Zuhörer lediglich den Anteil der Stimme wahr, der über die Luft übertragen wird. Immer wieder wird in diesem Zusammenhang auf das befremdliche Gefühl hingewiesen, wenn man seine eigene Stimme auf dem Tonband hört; sie kommt einem fremd vor, da der über die Knochenleitung gehörte Anteil fehlt.

Geräte der ersten Generation auf diesem Gebiet sind die klassischen Knochenleitungshörgeräte. Diese übertragen den Schall nicht via Luft im Gehörgang, sondern leiten ihn über den Knochen. Das Knochenleitungshörgerät wandelt die Schallsignale in Vibrationsschwingungen um. Der Hörer überträgt die Vibrationen auf den Knochen hinter dem Ohr. Das Mittel- und Innenohr wird über den Schädelknochen in Schwingung versetzt. Der Schwerhörige nimmt diese Schwingungen als gehörte Informationen wahr. Normalerweise werden Knochenleitungshörgeräte in äußeren Hörbügeln eingebaut, bei denen der Vibrator an den Kopf gepresst wird. Auch kann ein BAHA mit Stirnband getragen werden. Zudem gibt es die Variante mit einem Taschenhörgerät plus Knochenleitungshörer, der an einem Kopfbügel oder Stirnband befestigt wird. Knochenleitungshörgeräte dieser konventionellen Art, so Federspil et al. (2000), sind zum Beispiel bei Säuglingen und Kleinkindern mit beiderseitiger Gehörgangsatresie in den ersten Lebensjahren die einzige Versorgungsmöglichkeit.

Von Geburt an hochgradig schwerhörige Menschen brauchen von Geburt an mindestens ein (Knochenleitungs-) Hörgerät. Ihnen ist jedoch gemeinsam, dass ein gewisser Anpressdruck zur Überwindung der Dämpfung durch die Haut und

zur ausreichenden Schallübertragung benötigt wird. Diese Versorgung ist in den ersten Lebensjahren recht erfolgreich. Mit Zunahme der Hautdicke muss der Anpressdruck stärker werden und kann zu Hautdruckstellen und Kopfschmerzen führen, so dass die Hörgeräte lediglich eine begrenzte Zeit getragen werden. Pointiert sagen Federspil et al. (2000) zumindest für einen Teil der Patienten, dass sie „entweder hören und Schmerzen haben oder keine Schmerzen haben, aber auch nicht hören“.

Das knochenverankerte Hörgerät ist eine Sonderform des Knochenleitungshörgerätes. Die Knochenleitung erfolgt nach Tonndorf (1966) über drei mögliche Wege, 1. das Ausstrahlen des Schallereignisses vom Schädelknochen in den äusseren Gehörgang, 2. die Relativbewegungen, verursacht durch die Massenträgheit der Gehörknöchelchenkette und der Innenohrflüssigkeiten, 3. durch die Mikrokompression der Innenohrvolumina. Somit befindet sich zwischen der Schallquelle und dem Endorgan bei der klassischen Knochenleitung immer ein Weichteilfilter, der von der Haut und den unterliegenden Strukturen, wie Unterhautfettgewebe und Muskulatur, gebildet wird. Die direkte Knochenleitung mit Hilfe der knochenverankerten titansplintgetragenen Hörgeräte stellt eine überlegene Möglichkeit der Stimulation dar, da der Schädel ohne Weichteilinterposition stimuliert werden kann. Bereits frühzeitige vergleichende Studien von Hakansson (1984) stellen diese direkte Knochenleitung der klassischen Knochenleitung gegenüber. Dabei konnten drei Vorteile der direkten Knochenleitung nachgewiesen werden:

- Erhöhung der mechanischen Impedanz um 10-30 dB
- Senkung der Hörschwelle um 10-20 dB
- Verringerung der Beschleunigungsschwelle zwischen 16 und 28 dB im Frequenzbereich von 250-6000 Hz.

Diese Vorteile wurden 1994 durch Federspil et al. anhand eines 35 Patienten umfassenden mittels BAHA versorgtem Kollektivs bestätigt. Dabei zeigte sich das BAHA nicht nur den herkömmlichen Knochenleitungshörgeräten, sondern auch in gewissen Fällen den modernen Luftleitungshörgeräten überlegen (Federspil PA et al., 1997).

Die Ergebnisse unserer Arbeit decken sich mit den vorausgegangenen Untersuchungen. Insbesondere ergab sich im untersuchten Kollektiv im gesamten Frequenzbereich und in mehreren Frequenzbereichen, vor allem aber bei 250 Hz und im Bereich von 6000 Hz eine signifikante Verringerung des mittleren Hörverlustes in dB beim Vergleich BAHA mit vorher getragendem Knochenleitungshörgerät (Abbildung 6). Subjektiv gab kein Patient ein schlechteres Hörvermögen mit dem BAHA an. Im Vergleich des BAHA mit dem konventionellen Knochenleitungshörgerät stellten Carlsson et al. (1986) keinen eindeutigen Unterschied fest, jedoch eine bessere Sprachverständlichkeit im Lärm bei der Mehrzahl der Patienten. Cremers et al. (1992) beobachteten eine bessere Sprachverständlichkeit in Ruhe und im Lärm mit dem BAHA bei 6 bzw. 11 von 16 Patienten und bei keinem ein schlechteres Ergebnis. Rechte und linke Seite unterscheiden sich in der konventionellen Audiometrie nicht was den Zuwachs an Hörqualität mit dem BAHA ganz allgemein betrifft. Fast alle mit BAHA versorgten Patienten wiesen auf die angenehmere Klangqualität des BAHAs hin (Hakansson et al 1985, Bonding et al. 1992, Federspil PA et al. 1997, Junker 2006). Eine Differenz des Hörqualitäts-Zuwachs links und rechts war beim von uns untersuchten Kollektiv nicht zu erwarten, da die 30 getesteten Patienten alle beidseitige symmetrische Hörstörungen aufwiesen.

Im Hinblick auf die chronische Otitis media konnte mittels BAHA-Versorgung ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Hörschwelle erreicht werden. Letztere fiel jedoch geringer aus als bei den anderen Hörminderungs-Ursachen. Dies liegt vor allem an der bereits eingeschränkten Innenohrleistung welche öfter mit einer chronischen Otitis media einhergeht. Einerseits bedingt die Chronizität der Entzündung einen nicht seltenen Übergriff auf das bis dahin intakte Innenohr mit konsekutiver Einschränkung der Knochenleitung. Andererseits führen auch ototoxische Einflüsse, wie die rezidivierenden antibiotischen Therapien beziehungsweise Desinfektionsmassnahmen zu einer Innenohrschädigung auf lange Sicht. Im Falle operativer Revisionen sind vor allem operative Schäden des Innenohrs selbst als auch Schalltraumen des Innenohres im Rahmen der Operation zu nennen. Durch die BAHA-Versorgung

eines laufenden Ohres des Homburger Krankengutes wurde in 2/3 der Fälle einer Verbesserung der Ohrinfektion festgestellt (Junker 2006).

Die grösste Gruppe unseres Patientenkollektivs, bei der Fehlbildungen des Ohres vorlagen, verfügte über eine nahezu intakte Innenohrleistung, so dass mittels BAHA-Versorgung eine fast optimale Korrektur des Hörverlustes nachgewiesen werden konnte. 4-6 Monate nach der Geburt wurde mit BAHAs am Stirnband versorgt. Diese Ankopplung der Hörgeräte über die Haut wird mit zunehmendem Alter und Hautverdickung schlechter, so dass Druckstellen und Schmerzen neben der messbaren Hörverminderung entstehen. Mit dem knochenverankerten Hörgerät, z.B. nach dem dritten Lebensjahr, nimmt die Lautstärke und Schallqualität zu.

1989 wurde nur in Homburg und Paris versucht mit BAHAs ein beidohriges Gehör zu ermöglichen. Das bedeutet bei einseitiger hochgradiger Mittelohrschwerhörigkeit und Normalhörigkeit auf der Gegenseite eine einseitige Versorgung mit dem knochenverankerten Hörgerät. Bei beiderseitigen Hörstörungen wird eine beiderseitige Versorgung mit dem BAHA vorgenommen (Federspil et al. 1992 und 2000). 1994 konnten Federspil et al. darüber berichten, dass praktisch alle beiderseits mit BAHA versorgten Patienten mit beiderseitiger Mikrotie und/oder chronischer Otitis media sowie alle einseitig versorgten Patienten das BAHA über 12 Stunden/Tag tragen. Es leuchtet ein, dass mit nur einem Hörgerät immer nur "mono" gehört werden kann, und nie "stereo". Die Tatsache, dass 12 von 13 der in Homburg bilateral mit BAHAs versorgten Patienten tatsächlich beide Hörgeräte tragen weist auf die verbesserte Hörwahrnehmung hin (Federspil PA et al., 1997).

In unseren Untersuchungen konnte auch gezeigt werden, dass sich das Sprachverständnis insgesamt und speziell im Störgeräusch verbessert. Die sprachaudiometrischen Untersuchungen mittels Freiburger-Sprachtest untermauern diese Aussage. Bei beidseitiger BAHA-Versorgung konnte eine Verbesserung der 50-%igen Verständlichkeit in Ruhe um über 5 dB (=75%) nachgewiesen werden. Auch im Störschall zeigte die beiderseitige BAHA-

Versorgung eine deutliche Verbesserung der 50-%igen Verständlichkeit, und zwar verbesserte sie sich um rund 4 dB(=60%).

Zudem verbessert sich der Signal-Rausch-Abstand, welcher im BIRD-Test bestimmt wurde signifikant und zwar vor allem im Vergleich zu der einseitigen Versorgung für den Fall, dass der Störschall von der versorgten Seite eintrifft. Es konnte ein 76-%iger Verständlichkeitsgewinn nachgewiesen werden. Dies verdeutlicht objektiv das subjektiv empfundene bessere Hören und Sprachverstehen im Lärm. Weiterhin wurde mittels Schalllokalisationstest belegt, dass das Richtungshören und damit auch die räumliche Orientierung mit beidseitiger BAHA-Versorgung signifikant verbessert werden. Das zweite BAHA hält – beispielsweise beim Telefonieren – die Alarmierungsfunktion des Gehörs aufrecht. Außerdem erhöht die beidseitige BAHA-Versorgung die Orientierung im Straßenverkehr und reduziert somit die Unfallgefahr.

In Paris berichten Hamann et al. 1991 über gute Ergebnisse mit der beiderseitigen BAHA-Versorgung die Stereoakusie und den zusätzlichen Hörgewinn von 4 dB betreffend. Snik et al. (1998) erzielten durch die beidseitige BAHA-Versorgung eine deutliche Hörverbesserung in Ruhe und besonders im Lärm, die von 2,9 bis 6 dB reichte. Da 1 dB die Spracherkennung um etwa 15 Prozent verbessert, betrug die Verbesserung 44 bis 90 Prozent. Ende der neunziger Jahre übernahmen Tjellström und Proops auch die grundsätzliche beidseitige BAHA-Versorgung.

Generell empfehlen Experten heute auch bei einseitigen Ohrfehlbildungen die Versorgung mit dem knochenverankerten Hörgerät. Vom audiologischen Standpunkt her ist es besser, beide Ohren zur binauralen Summation nutzen zu können. Gerade im Kindesalter muss zur Ausreifung der Hörbahn ein Optimum für die auditive Reizanbietung auf beiden Seiten gewährleistet sein. Denn auch, wenn einseitig normalhörende Patienten in der experimentellen Stille der Audiometrikabine ein normales Sprachverständnis aufweisen, lässt sich dieser Effekt nicht auf die „normalen“ Alltagssituationen übertragen. In vielen Situationen, zum Beispiel auf einer von vielen parallel geführten Gesprächen

geprägten Party, sind funktionell einseitig taube Patienten in punkto Sprachverständnis und Richtungsgehör mit nur einem BAHA-versorgten Ohr erheblich behindert.

Priwin et al. (2004) kommen zu demselben Gesamtergebnis wie der überwiegende Teil der Autoren: Zusammengefasst sind die Ergebnisse mit bilateraler BAHA-Versorgung besser als mit einseitiger. „Der Benefit ist nicht nur allein durch eine bilaterale Stimulation bedingt sondern in gewisser Erweiterung auch durch binaurales Hören. Eine bilaterale BAHA-Versorgung sollte für Patienten mit bilateralem Hörverlust angestrebt werden, sofern keine Kontraindikationen bestehen“, so Priwin et al. (2004).

Bei einseitigen Ohrfehlbildungen mit Normalgehör auf der Gegenseite ist der mögliche Nutzen einer BAHA-Versorgung gegenüber einer Stigmatisierung durch ein Hörgerät besonders im Kindesalter abzuwägen, da die Sprachentwicklung dennoch normal vonstatten gehen kann (Federspil PA et al., 2002). Günstig erscheint das Probetragen eines BAHA am Stirnband. Als Alarmzeichen und Signal für die Verordnung eines BAHA sollten Eltern einen Sprachentwicklungsrückstand oder ein Defizit in den schulischen Leistungen werten. Thomas (1996) konnte zeigen, dass sich die Sprachentwicklung bei Kindern mit knochenverankerten BAHAs verbessert. Federspil PA et al. (2002) wissen von Kindern, die nach der Umstellung vom konventionellen Knochenleiter aufs BAHA über „eine vorher nicht gekannte Klarheit und Lautheit des Höreindrucks“ berichten. In Homburg erfolgt die ein- oder beiderseitige Versorgung mit einem BAHA am Stirnband im Alter von 4 bis 6 Monaten und nach Aufklärung der Eltern der kleinen Patienten. Scheint die Hörverbesserung und die Anbahnung der Sprache in den 6 bis 12-monatigen Kontrolluntersuchungen normal, so wird mit der Empfehlung der knochenverankerten BAHAs bis zum 5. oder 6. Lebensjahr gewartet. Vor der Anbringung einer Knochenverankerung wird dann zuerst und ausschliesslich eine Röntgenaufnahme des Warzenfortsatzes vorgenommen. Ein Computertomogramm des Warzenfortsatzes erfolgt nur zum Ausschluss eines Cholesteatoms oder später zur Begutachtung der Chancen einer

hörverbessernden Operation bzw. vor deren Durchführung. Bei der Aufklärung vor der Anbringung der knochenverankerten BAHAs sollte auf die Möglichkeit einer später durchzuführenden hörverbessernden Operation hingewiesen werden und insbesondere auf die nicht völlig auszuschliessenden schweren Komplikationen dieses Eingriffes wie z.B. Fazialisparese, Ertaubung, chronische Otitis media, die dann möglichst mit dem heranwachsenden jungen Patient selbst besprochen werden sollten. Zur Feststellung ob eine hörverbessernde Operation im Falle der vorliegenden Ohrfehlbildung möglich ist, gibt es Richtlinien.

Jahrsdoerfer (1978) und später Siegert et al. (1996) haben jeweils Richtlinien entwickelt, die sich vorrangig auf die Befunde im Dünnschicht-Computertomogramm (CT) stützen. Der Jahrsdoerfer CT-Score umfasst zehn Punkte, der von Siegert 28 Punkte. So wird bei der einseitigen AAC (kongenitalen aurikulären Atresie) eine Operation des Mittelohres ausschließlich dann empfohlen, wenn der Jahrsdoerfer-Score acht von zehn Punkten erreicht. Beim Siegert-Score müssen 20 von 28 Punkten erreicht werden, damit sich eine OP empfiehlt d.h. genügend Chancen für eine günstige Hörverbesserung bestehen. Vor dem fünften Lebensjahr wird eine Operation ohnehin nicht empfohlen.

Die gehörverbessernde Operation erreicht in der Vielzahl der Fälle nur eine geringe Reduktion der Schalleitungsschwerhörigkeit. Jahrsdoerfer gibt den Hörgewinn in den ersten Monaten mit etwa 30 bis 35 dB an. Der erworbene Hörgewinn lässt erfahrungsgemäß über einen langen Zeitraum betrachtet wieder nach. Meistens bleibt eine Schalleitungsschwerhörigkeit von 20 bis 30 dB zurück. Diese muss über Hörgeräte ausgeglichen werden. Der durch die Operation wahrgenommene Vorteil für die Patienten bleibt daher meistens doch gering und erspart zudem in den meisten Fällen nicht die spätere Hörgeräteversorgung. Zudem können wie oben angegeben schwerwiegende operative Komplikationen auftreten, so dass auch in günstigen Fällen die hörverbessernde Operation möglichst nach einer Interimsversorgung mit einem BAHA besser erscheint. Das Auftreten schwerer postoperativer Komplikationen

wie Fazialisparese, Ertaubung, chronische Otitis media sollte in der Tat erst zur hörverbessernden Operation raten lassen wenn der junge Patient mitverantwortlich sein kann. Auch der plastische Aufbau der Ohrmuschel – der frühestens ab dem achten Lebensjahr empfohlen wird – ist nur dann möglich, wenn vorher keine Mittelohrrekonstruktion stattgefunden hat. Für den chirurgischen Aufbau der Ohrmuschel ist nämlich eine Kopfhaut ohne Narben vonnöten (Weerda H., 2001).

Dass ein beidseitig normales Hörvermögen für unbeeinträchtigte Kommunikation und allgemeines „Wohlgefühl“ notwendig ist, braucht nicht thematisiert zu werden. Auch dass es für die Orientierung in der akustischen Umgebung wichtig ist, dürfte einleuchtend sein. Im Hinblick auf die Diskussion über die Versorgung von Kleinkindern mit BAHA sei an dieser Stelle auf Erkenntnisse etwa von Northern et al. (2002) hingewiesen, die den Spracherwerb hörgeschädigter Kinder untersucht haben. So verläuft etwa bei beidseitigen angeborenen Schwerhörigkeiten im Kindesalter der Spracherwerb verzögert oder gar nicht. Bei einseitigen angeborenen Schwerhörigkeiten sind ebenfalls Verzögerungen des Spracherwerbs beobachtet worden, allerdings im Vergleich zu beidseitigen Schwerhörigkeiten nicht so starke. Clements et al. (1978) vermuten, dass bei einseitigen Schwerhörigkeiten besonders Einschränkungen des Sprachverstehens im Störgeräusch sowie Störungen des Richtungshörens und der räumlichen Orientierung zu erwarten sind. Bei Erwachsenen mit angeborenen ein- oder beidseitigen Schwerhörigkeiten wurde beobachtet, dass sie mit Geräuschen verbundene Gefahren von der Seite – etwa ein sich näherndes Auto im Straßenverkehr – zu spät wahrnehmen.

Die auditive Verarbeitung wird im Allgemeinen verstanden als unbewusste und vorbewusste auditive Leistungen der Decodierung, Mustererkennung, Analyse und Filterung akustischer Stimuli auf verschiedenen Ebenen der zentralen Hörbahn (Bellis T.J., 2004). Als auditive Wahrnehmung verstehen wir vorbewusste und bewusste sprachrelevante Leistungen der auditiven Analyse, Interpretation und Speicherung akustischer Information mit starken Beziehungen zur Sprache und zur Intelligenz (Nickisch A. et al., 2006). Wenn

auditive Verarbeitung und Wahrnehmung gestört sind, können Störungen der Erkennung und Unterscheidung von Schallreizen, des Richtungshörens, der Lateralisation und der Störgeräuschunterdrückung resultieren.

Unter Richtungsgehör wird allgemein die Fähigkeit verstanden, die Schallrichtung exakt einzuordnen, und zwar sowohl in der Horizontalebene als auch in der Vertikalebene. In Kombination mit dem Entfernungshören ermöglicht das Richtungshören das räumliche Hören. Damit ist die Fähigkeit gemeint, eine Schallquelle in einem dreidimensionalen Raum zu lokalisieren (Blauert J., 1974). Clifton et al. (1981) sehen Richtungs- und räumliches Hören als notwendige Voraussetzungen für ein normales Sprachverstehen im Störgeräusch an. Sie ermöglichen dem Zuhörer, die Signale zweier räumlich benachbarter Schallquellen separat verarbeiten zu können und so das Sprachsignal aus einer Richtung zu verstehen und das Störsignal aus der anderen Richtung zu ignorieren.

Wie bereits mehrfach in dieser Arbeit ausgeführt, gilt bei beiderseitig innenohrschwerhörigen Patienten schon seit längerer Zeit die Empfehlung, binaural zu versorgen. Die klinischen Erfahrungen, und die hier aufgezeigten Untersuchungsergebnisse lassen auch die Vorteile der beiderseitigen Versorgung mit BAHA deutlich erkennen. Binaurales Hören ist nicht zuletzt auch vor allem deshalb wichtig, damit das Gehirn den Input von zwei Ohren verarbeiten kann. Es kann Hintergrundgeräusche, die an beiden Ohren in gleicher Lautstärke und in gleicher Phase ankommen, selektiv filtern und unterdrücken. Störschall wird „ignoriert“, Sprache herausgefiltert.

5.2. Diskussion der Ergebnisse bei Patienten mit einseitiger Taubheit

Das Dilemma einseitig Ertaubter sei hier noch einmal erläutert: Die nicht vorhandene Hörleistung auf dem tauben Ohr lässt sich mit dem Hörgerät nicht korrigieren. Bisher konnte lediglich mit der herkömmlichen Überkreuzversorgung (CROS steht für Contralateral-Routing-Of-Signals) eine Hörverstärkung erreicht werden. Dazu müssen beide Ohren miteinander verbunden werden. Beide Ohren müssen mit einem Hörgerät versorgt werden. Vom gehörlosen zum gesunden Ohr verläuft eine Kabelverbindung. Diese verläuft entlang des Nackens oder ist in eine Brille integriert. Die Brille muss dann immer getragen werden, um etwas zu hören.

Diese konventionelle CROS-Versorgung bringt aber viele Schwierigkeiten mit sich: Dadurch, dass der Schall von der ertaubten Seite auf die hörende Seite übergeleitet wird, kommen die Schallsignale aus Richtung der ertaubten Seite zwar insgesamt deutlicher im Gehörgang an, allerdings erscheint es dem Träger so, als ob dieses Signal – wie die anderen auf der hörenden Seite empfangenen Signale – von der hörenden Seite kommt. Eine räumliche Zuordnung von Geräuschen ist kaum möglich. Zudem toleriert das gesunde Ohr das Tragen des Hörverstärkers schlecht. Die akustische Übertragung des Gerätes lässt ebenfalls zu wünschen übrig. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Patienten mit der konventionellen CROS-Versorgung häufig nicht zufrieden sind.

Ein gesondert zu betrachtender Fall innerhalb der BAHA-Versorgung ist die Versorgung mit dem BAHA-CROS. Die weltweit erste erfolgreiche CROS-Versorgung eines einseitig tauben Patienten mit einem BAHA wurde 1990 in Homburg vorgenommen (Federspil P et al., 1992). In Homburg wurde frühzeitig damit begonnen, einseitig taube Menschen über die Knochenleitung transkraniell mit dem BAHA-CROS zu versorgen. Dabei wird, wie bereits ausgeführt, der Schall von der ertaubten Seite auf die hörende Seite übergeleitet. Patienten mit einseitiger Ertaubung können nicht binaural hören. Die konventionelle CROS-Versorgung verbessert die Hörleistung im Störschall,

also den Signal-Rausch-Abstand. Allerdings konnte das Richtungshören nicht wesentlich verbessert werden. Beim Vergleich zwischen konventioneller CROS-Versorgung und Versorgung mit BAHA-CROS zeigte sich deutlich, dass mit dem BAHA-CROS ein verbessertes Hörvermögen im Störschall im Vergleich zur konventionellen CROS-Versorgung erzielt wurde. Punktuell lassen sich auch hier Verbesserungen des Richtungshörens aufzeigen.

Diese CROS-Versorgung hat in verschiedenen Situationen des täglichen Lebens Vorteile, etwa bei Gesellschaften am Tisch: Der einseitig Ertaubte versteht das Ansprechen von beiden Seiten. Zudem erhöht sich das Sprachverstehen im Störgeräusch, was sich zum Beispiel beim Unterhalten im Auto auswirkt, wenn das Motorgeräusch hinzukommt. BAHA-CROS-Versorgte zeigen ein deutlich besseres Hörvermögen. Beim Fußmarsch mit anderen Menschen spielt es nun keine Rolle mehr, auf welcher Seite der einseitig Ertaubte geht. CROS-Versorgte geben sogar eine grössere Sicherheit an. Der Patient kann auf dem ertaubten Ohr erstaunlicherweise nahezu normal hören. Vielfach kann der Träger selbst im Flüsterton vorgetragene Worte verstehen.

Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass auch das BAHA-CROS keine echte Stereo-Versorgung erzielen kann. Doch setzt erfahrungsgemäß nach einiger Tragezeit eine Gewöhnung ein, und der Patient kann den Klang des gesunden Ohrs vom ertaubten Ohr unterscheiden. Dieser Effekt hat dann auch eine gewisse Stereo-Wirkung. Vaneeecloo et al (2001) sprechen in diesem Zusammenhang von „pseudo-Stereophonie“.

Die Erfahrungen mit der CROS-Versorgung von 5 einseitig tauben Patienten des Homburger Patientenkollektivs über die Knochenleitung mit dem knochenverankerten Hörgerät haben gezeigt, dass sich eine deutliche Verbesserung des Einsilberverständnisses im Störgeräusch und damit auch des Signal-Rauschabstandes zwischen 3-10 dB über die Knochenleitung nachweisen lässt (Federspil PA et al., 2001). In besonderer Form wird der Erfolg der CROS-Versorgung jedoch deutlich im subjektiven Empfinden der Patienten. Alle 5 getesteten Patienten geben sowohl eine Hörverbesserung als

auch eine grössere Sicherheit durch die CROS-Versorgung. Bis auf einen Patienten der trotz objektiver Verbesserung aus Angst vor Stigmatisierung sein Hörgerät nicht mehr tragen möchte, tragen die restlichen Patienten alle ihr zusätzliches Hörgerät als Ausdruck des Nutzens, den sie daraus ziehen. (Federspil PA et al., 2001). Eine Verbesserung der Schalllokalisation konnte bei der CROS-Versorgung nicht nachgewiesen werden. Möglicherweise könnten Einflussfaktoren wie Dauer der CROS-Versorgung, Lerneffekt sowie die Kopfdrehung mittels Phasenverschiebung eine Rolle spielen.

Obwohl aufgrund der geringen Fallzahl diese Patienten nur exemplarisch aufgeführt werden können, so decken sich diese Erfahrungen weitestgehend mit den Ergebnissen der Literatur.

Vanecloo et al. beschrieben bereits 2001 die Vorteile einer BAHA-Versorgung auf der ertaubten Seite. Anhand eines 29 Patienten umfassenden Kollektivs konnten mittels stereoaudiometrischer Tests vor und nach BAHA-Versorgung sowohl subjektive als auch objektive Verbesserungen nachgewiesen werden. So konnte anhand des Hirsch Tests eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit im Störschall von 5 bis 15 dB nachgewiesen werden. Weiterhin war eine Korrektur des toten Hörwinkels auf der ertaubten Seite sowie eine signifikante Verbesserung der Schalllokalisation im Raum zu verzeichnen. In der Auswertung des Glasgow Hearing Aid Benefit Profile des Patientenguts zeigte sich zudem eine deutliche Verbesserung der Lebensqualität. Hierbei gaben 88% der Patienten an sie seien sehr zufrieden mit der BAHA-CROS Versorgung mit einer Tragzeit von 8 bis 9 Stunden pro Tag und einer deutlichen Besserung vor allem zu den Anlässen, die ihnen vorher schwer fielen.

Bosman et al. (2003) kommen zu dem Ergebnis, dass das BAHA-CROS in spezifischen Hörsituationen elementare Vorteile gegenüber herkömmlichen CROS-Versorgungen mit sich bringt.

Mlynski et al. (2005) reihen sich ein in die Fürsprecher des BAHA-CROS bei einseitiger Total-Ertaubung. Auch in den Untersuchungen von Mlynski et al.

erreichten die Patienten mit der BAHA Versorgung eine Verständnisquote von 100 Prozent für Einsilber im Freifeld zwischen 65 und 85 dB. „Insbesondere zeigt sich eine deutliche Verbesserung des Sprachgehörs im Störlärm. Der Signal-Rausch-Abstand konnte etwa bei Patienten mit einseitiger Ertaubung und Normakusis auf der Gegenseite bis zu 11 dB verbessert werden“.

Stenfelt (2005) aus Göteborg hat einen mehr oder weniger kritischen Standpunkt, was die BAHA-Versorgung für einseitig Ertaubte betrifft. Nur unter gewissen Umständen, führt er aus, könne der Patient vom BAHA profitieren: „Vorausgesetzt beim Patienten liegt eine niedrige bis mittlere transkraniale Attenuation vor sowie eine günstige signal-to-noise ratio auf der hörgeschädigten Seite, so ist ein Benefit bei einer einseitigen Ertaubung mittels BAHA Versorgung der ertaubten Seite möglich. Benutzt eine einseitig ertaubte Person ein BAHA so ist eine Verbesserung des Sprachverständnisses im Lärm zu erwarten bei räumlicher Trennung der Sprach- und der Lärmquelle mit Lokalisation der Sprachquelle auf der hörgeschädigten Seite wohingegen der Störschall von der besseren Seite eintrifft beziehungsweise diffus vorliegt“.

Gründer et al. (2007) weisen auf weitere Vorteile der BAHA-CROS Versorgung hin, die über die Hörleistung – namentlich die Hörverbesserung im Störgeräusch - hinausgehen. So sind nicht nur Handhabung und Tragekomfort gegenüber der konventionellen CROS Versorgung verbessert sondern auch der kosmetische Aspekt. Präoperativ, empfehlen Gründer et al., sollte eine audiologische Testung mit dem Testbügel in Bezug auf subjektive Zufriedenheit erfolgen. Sie empfehlen dafür einen standardisierten Fragebogen.

Korbmacher et al. (2007) zeigen eine Verbesserung der Sprachdiskrimination im Störgeräusch durch eine BAHA-CROS Versorgung auf. Denn der Verlust der Sprachdiskrimination im Störgeräusch zählt zu den einschneidendsten Folgen der einseitigen Ertaubung. „Hieraus resultiert eine starke Verminderung der Lebensqualität. 50 Prozent der operierten Akustikusneurinom-Patienten geben die Hörminderung bzw. Ertaubung als vordergründig belastendes Symptom an“, halten die Autoren fest. Zu einer Verminderung der Lebensqualität würde

zudem der Verlust des Richtungshörens durch die einseitige Ertaubung führen. Korbmacher et al. untersuchten zwölf Patienten mit konsekutiver Ertaubung und statteten sie in der Freifeldaudiometrie mit einer CROS-Versorgung aus. Die Untersuchungen evaluierten sie mit einer Modifikation des Oldenburger Satz-Tests. Das Sprachverständnis im Störgeräusch wurde bei Nutzschall-Störschall-Abständen von 10 dB, 5 dB und 0 dB ermittelt, variiert ohne und mit CROS-Versorgung sowie nach erfolgter Trainingsphase mit konventionellem Hörgerät. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass unter der CROS-Versorgung „eine signifikante Verbesserung des Sprachverständnisses im Störgeräusch nachgewiesen werden konnte. Bezüglich des Richtungshörens fand sich keine Verbesserung der Schallortung“.

5.3. Komplikationen

Es soll hier nicht versäumt werden, auch auf mögliche Komplikationen in Zusammenhang mit der Knochenverankerung hinzuweisen. Federspil et al. (2000) beziehen sich auf eine Untersuchung des schwedischen Zentrums Göteborg, das die Osseointegrationen über einen langen Zeitraum verfolgte beziehungsweise beobachtete, ob die Patienten mit den Titanimplantaten zurecht kamen. Demnach verloren 3,4 Prozent der 149 beobachteten Patienten ihre Osseointegration, das heißt also, das Implantat löste sich in Folge physikalischer Einwirkung oder anderer Einflüsse ab. Bei elf Patienten – entsprechend 7,4 Prozent des Kollektivs – mussten die Mediziner das Implantat entfernen. Dies geschah in fünf Fällen wegen schlechter Innenohrfunktion, dreimal waren unklare Schmerzen ausschlaggebend und ebenfalls dreimal mangelnde Hygiene.

Federspil et al. (2000) können selbst auch auf entsprechende Erfahrungswerte verweisen: Das entsprechende Kollektiv bestand aus 75 Patienten, von denen 52 auf Ohr-Fehlbildungen entfielen, 21 auf chronische Mittelohrentzündungen sowie zwei auf Tumoren. Mit 10,7 Prozent liegt der Wert der Implantate, die verloren gingen oder entfernt werden mussten, im vergleichbaren Rahmen wie

in Göteborg. Hautreizungen seien nur bei einem Drittel der Patienten aufgetreten.

Junker (2006) stellte eine Verlustrate von 5,3% der für ein BAHA vorgesehenen Implantate bei den über 10-jährigen und eine Verlustrate von 18,2% bei den unter 10-jährigen des Homburger Krankenguts fest.

Deitmer et al. (2003) berichten ihrerseits über 2 schwerwiegende Komplikationen. So zog sich ein Kind mit einem BAHA durch einen Sturz eine imprimierende Fraktur der Kalotte im Bereich des Knochenankers zu. Im Zuge der Explantierung kam es zunächst zu einer komplikationslosen Wundheilung. Auf der Gegenseite kam es dann zu einer neuerlichen Versorgung. Bei einem Patienten kam es im Rahmen eines Kupplungswechsels zu einer Infektion des Knochenankers. Bei praktisch klinischer Ausheilung der Infektion im Bereich des Knochenankers kam es nach einigen Wochen zur Ausbildung eines intrakraniellen Abszesses, der einer neurochirurgischen Drainage bedurfte. Unter Antibiotika-Behandlung sei die intrakranielle Infektion dann ohne Probleme ausgeheilt, berichten Deitmer et al. Diese seltenen Komplikationen sollten die Wachsamkeit schärfen.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. **Albrektsson T, Branemark PI, Jacobsson M, Tjellström A (1987):** Present clinical application of osseointegrated percutaneous implants. *Plast. Reconstr. Surg.* 79(5), 721-731
2. **BIRD-Sprachtest**, Handbuch, Starkey Laboratories GmbH
3. **BIRD-Sprachtest**, Hintergrundwissen, Starkey Laboratories GmbH
4. **Bellis TJ (2004):** Redefining auditory processing disorder. An audiologist's perspective. *The ASHA Leader*, 6, 22-23
5. **Blauert J (1974):** Räumliches Hören bei einer Schallquelle. *Räumliches Hören*. S. Hirzel Verlag Stuttgart, 29-153
6. **Blauert J (1997):** Spatial Hearing. The Psychophysics of Human Sound Localization. Revised Edition, MIT Press, Cambridge, MA
7. **Bonding P, Ahlgren P, Dige-Petersen H (1992):** Permanent, skin penetrating, bone-anchored titanium implants. A clinical study of host-reaction in soft tissue. *Acta. Otolaryngol. Stockh.* 112, 455-461
8. **Bosman AJ, Hol MKS, Snik MF, Mylanus EAM, Cremers CWRJ (2003):** Bone-anchored Hearing Aids in Unilateral Inner Ear Deafness. *Acta Otolaryngol.* 123, 258-260
9. **Branemark PI, Breine U, Adell R, Hansson O, Lindström J, Ohlsson A (1969):** Intra-osseous anchorage of dental protheses. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.* 3, 81-100
10. **Branemark PI, Hansson O, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallen O, Öhman A (1977):** Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10 year period. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.* 11 suppl. 16, 1-132
11. **Braun A, Mißfeldt N, Zwirner P (2001):** Beidseitige BAHA-Versorgung bei Kindern mit Ohrmuscheldysplasie und/oder Gehörgangsatriesie. Gross, M., Kruse, E., (Hrsg.): Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte, Band 8, Median Verlag Heidelberg, 245-247

- 12. Carlsson P, Hakansson B, Rosenhall U, Tjellström A (1986):** A speech-to-noise ratio test with the bone-anchored hearing aid: A comparative study. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 94(4), 421-426
- 13. Clements M, Kelly JB (1978):** Auditory spatial responses of young guinea pigs during and after ear blocking. *J Comp Physiol Psychol* 92(1): 34-44
- 14. Clifton RK, Morrongiello BA, Kulig JW, Dowd JM (1981):** Newborn's orientation toward sound: possible implications for cortical development. *ChildDev* 52(3):833-838
- 15. Cremers CWRJ, Mylanus EAM, Snik FM (1992):** Clinical Aspects of a follow up protocol. *Biomaterials Club. Scientific Program and Book of Abstracts.* Ed. Albrektsson, T., Jacobsson, M., Tjellström, A. University of Göteborg, 1993
- 16. Deitmer T, Kraßort M, Hartmann S (2003):** Zwei seltene Komplikationen bei Patienten mit knochenverankerten Hörgeräten. *Laryngorhinootologie* 82:162-165
- 17. Dörre E (1980):** Aluminiumoxid-Keramik-ein Werkstoff für enossale Implantate. *ZahnärztlPrax*, 31, 343
- 18. Eriksson RA, Albrektsson T (1983):** Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: A vital microscopy study in the rabbit. *J. Prosthet. Dent.* 50, 101-107
- 19. Eriksson RA, Albrektsson T, Albrektsson B (1984A):** Heat caused by drilling cortical bone. Temperature measured in vivo in patients and animals. *ActaOrthop. Scand.* 55, 629-631
- 20. Eriksson RA, Albrektsson T (1984B):** The effect of heat on bone regeneration. *J. Oral. Maxillofac. Surg* 42, 705-711
- 21. Eriksson RA, Adell A (1986):** Temperatures during drilling for the placement of implants using the osseointegration technique. *J. Oral. Maxillofac. Surg* 44
- 22. Federspil P, Kurt P, Koch A (1991):** Das knochenverankerte Hörgerät: Eine neue Art der Hörgeräteversorgung. *Arch Oto-Rhino-Laryngol (Suppl)* 2: 1991. Verhandlungsbericht der Deutschen Gesellschaft für HNO-Heilkunde. Kopf- und Halschirurgie, 308

23. Federspil P, Delb W (1992): Treatment of the congenital malformations of the external and middle ear. Congenital and middle ear malformations. ed.: B. Ars, Kugler Publications, Amsterdam, New York. 47-70

24. Federspil P, Kurt P, Koch A (1992): The bone-anchored hearing aid: A new way for better hearing. Europ. Arch ORL. 249, 2, 102

25. Federspil P (1994): Knochenverankerte Hörgeräte : Eine Revolution in der Hörgeräteversorgung. HNO aktuell. 2, 91-98

26. Federspil P, Kurt P, Delb W (1994): Fortschritte in der kraniofazialen Rehabilitation und in der Hörgeräteversorgung. Magazin Forschung, Universität des Saarlandes 2-10,2

27. Federspil P (1995): Knochenverankerte Hörgeräte. DSB Report : Deutscher Schwerhörigenbund e.V., 4, 5-7

28. Federspil P, Kurt P, Federspil PA (1997): Kraniofaziale Rehabilitation mit knochenverankerten Epithesen und Hörgeräten. Schwipper V., Tilkorn H., Sander U.: Fortschritte in der kraniofazialen chirurgischen Epithetik und Prothetik. Reinbek: Einhorn-Press-Verlag 154-179

29. Federspil P, Federspil PA (1998): Die epithetische Versorgung von kraniofazialen Defekten. HNO 46, 569-578

30. Federspil P, Federspil PA (2000): Knochenverankerte aktive Hör-implantate Deutsches Ärzteblatt 97, Heft 10, 609-614

31. Federspil PA, Geisel C, Federspil P (1997): Ergebnisse der Versorgung mit knochenverankerten Hörgeräten. Vortragsnummer 286 Poster 32, 68. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie, HNO 45, 311

32. Federspil PA, Federspil P, Leider P, Plinkert PK (2001): Etude stéréoaudiométrique de 33 patients appareillés bilatéralement avec la BAHA et de 7 patients avec cophose unilatérale appareillés en CROS avec la BAHA. Société Française d'Oto-Rhino-Laryngologie et de Chirurgie de la Face et du Cou. Résumés des Séances et posters. L'Européenne d'Editions, Abstract N°212, p 170

33. Federspil PA, Delb W, Federspil P, Plinkert PK (2001): Untersuchungen zum Richtungsgehör bei 30 beiderseitig mit knochenverankerten Hörgeräten versorgten Patienten und 6 einseitig tauben Patienten. HNO Informationen 25(2): 83

34. Federspil PA, Delb W, Federspil P, Plinkert PK (2001): Erfahrungen mit der CROS-Versorgung von einseitig tauben Patienten über die Knochenleitung mit dem knochenverankerten Hörgerät. Supplementum IV 179-182, Z Audiol

35. Federspil PA, Plinkert PK (2002): Knochenverankerte Hörgeräte immer beidseitig! HNO, Vol. 50, 404-409

36. Geisel C (1998): Knochenverankerte Epithesen und Hörgeräte im kraniofazialen Bereich, klinische Ergebnisse der Versorgung der ersten 100 Patienten. Dissertation Homburg/Saar

37. Goldschmidt O, Goldschmidt K, Neuschaefer-Rube, C (2006): Beidseitige BAHA-Versorgung - eine Kosten- und Nutzenbetrachtung im Einzelfall. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie 23. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Düsseldorf, Köln: German Medical Science; Doc 06dgppP16

38. Granström G, Tjellström A, Branemark PI, Fornander J (1993): Bone-anchored reconstruction of the irradiated head and neck cancer patient. Otolaryngol. Head Neck Surg. 108, 334-343, 1993B

39. Granström G, Jacobsson M (1991): Titanium implants in the irradiated tissue. Benefits from hyperbaric Oxygen. Biomaterials Club. Book of Abstracts. Ed. Albrektsson, T.; University of Göteborg. 42-47

40. Granström G, Tjellström A, Albrektsson T (1993): Postimplantation irradiation for head and neck cancer treatment. Int. J. Oral Maxillofac. Implants. 8, 495-501, 1993A

41. Granström G (2000): Osseointegrated implants in children. Acta Otolaryngol 543: 118-121

42. Gründer et al. (2007): Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie. 78. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V.. München, Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; Doc 07hnod318

43. Hakansson B (1984): The bone-anchored hearing aid: engineering aspects, thesis. Tech Rep 144, School of Electrical Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg

44. Hakansson B, Tjellström A, Rosenhall U, Carlsson P (1985): The bone-anchored hearing aid. Principal design and a psychoacoustical evaluation. Acta Otolaryngol. Stockh. 100(3-4), 229-239.

45. Hamann C, Manach Y, Roulleau P (1991): Bone anchored hearing aid. Results of bilateral applications, Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord), 112(4), 297-300.

46. Hansson HA, Albrektsson T, Branemark PI (1983): Structural aspects of the interface between tissue and titanium implants. J. Prosthet. Dent. 50, 108-113

47. Jahrsdoerfer RA (1978): Congenital Atresia of the ear. Laryngoscope, 88:1-48

48. Junker, O (2006): Epithetische Rehabilitation kraniofazialer Defekte. Dissertation Homburg/Saar

49. Kießling J (2000): Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. Laryngo-Rhino-Otol 79: 633-635

50. Kollmeier B (1995): Cocktailpartys und Hörgeräte: Wege zum besseren Hören. Einblicke Vol. 22, Oldenburg

51. Korbmacher et al. (2007): Evaluation einer BAHA-CROS Versorgung bei einseitiger Ertaubung nach Akustikusneurinom-Exstirpation. Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie. 78. Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V. München, Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House. Doc 07hnod039

52. Kurt P, Federspil P (1994): Knochenverankerte Epithesen und Hörgeräte - Eine Übersicht. HNO Praxis heute. 14,157-178

53. Linder L, Albrektsson T, Branemark PI, Hansson HA, Varsson B, Jönsson U, Lundström I (1983): Elektron microscopic analysis of the bone-titanium interface. Acta orthop. Scand. 54, 45-52

54. Mißfeldt N, Braun A, Zwirner P (2002): Beidseitige BAHA-Versorgung bei Kindern mit Ohrmuscheldysplasie und/oder Gehörgangatresie, HNO, Vol. 50, No. 5

55. Mlynski R, Moser L, Schwager K (2005): Verbesserung des Sprachgehörs nach BAHA Versorgung. HNO-Informationen (Kongressabstracts).84

56. Nickisch A, Gross M, Schönweiler R, Uttenweiler V, am Zehnhoff-Dinnesen AG, Berger R, Radü HJ, Ptak M (2006): Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. Konsensus-Statement.

57. Northern JL, Downs DH (2002): Hearing and hearing loss in children, Medical Aspects of hearing loss and Amplification. Hearing in Children, 5Th Edition, Lipinkott Williams&Wilkins, Philadelphia

58. Priwin C, Stenfelt S, Granstrom G, Tjellstrom A, Hakansson B (2004):The Laryngoscope, Vol. 114, No. 1, 77-84

59. Renk A (1997): 400 Jahre Gesichtsprothetik – Eine historische Übersicht zur Entwicklung der Epithesen. In: Schwipper V., Sander U. (Hrsg) Fortschritte in der kraniofazialen chirurgischen Epithetik und Prothetik. Einhorn, Reinbeck, 23-36

60. Senn P, Kompis M, Vischer M, Häusler R (2003): Wie taube Menschen Hörvermögen erlangen. Unipress, Vol. 119, Bern

61. Sennerby L (1993): Integration of titanium implants. Albrektsson T., Jacobsson M. Tjellström A (Hrsg) Biomaterials club. Scientific Program and Book of Abstracts University of Gothenburg

62. Siegert R, Weerda H, Mayer T, Brückmann H (1996): Hochauflösende Computertomographie fehlgebildeter Mittelohren. Laryngorhinootologie 75(4): 187-194

63. Snik FM, Beynon J, Mylanus EAM, van der Pouw CTM, Cremers CWRJ (1998): Binaural Application of the Bone Anchored Hearing Aid. Ann.Otol. Rhinol.Laryngol.,107:187-193

64. Snik FM, Mylanus EAM, Cremers CWRJ (2001): The bone-anchored hearing aid: a solution for previously unresolved otologic problems. Otolaryngol. Clin. North Am. 34, 2, 365 – 372

- 65. Stenfelt S (2005):** Bilateral Fitting of BAHAs and BAHA fitted in Unilateral deaf persons: Acoustic Aspects., International Journal of Audiology 44, 178-189
- 66. Thomas J (1996):** Speech and voice rehabilitation in selected patients fitted with a bone anchored hearing aid (BAHA). J LaryngolOtolSuppl 21: 47–51
- 67. Tjellström A, Hakansson B (1995):** The bone-anchored hearing aid. Design principles, indications, and long-term clinical results. Otolaryngol Clin North Am 28:53–72
- 68. Tonndorf, J. (1966):** Bone conduction. Acta otolaryngol. 213: 6-132
- 69. Ulrich J (2006):** Binaurales und räumliches Hören. Hörakustik, Vol. 9, 109
- 70. Vaneecloo FM, Ruzza I, Hanson JN, Gérard T, Dehaussy J, Cory M, Arrouet C, Vincent C (2001):** The monaural pseudo-stereophonic hearing aid (BAHA) in unilateral total deafness: a study of 29 patients. Rev. Laryngol. Otol. Rhinol. 122,5:343-350
- 71. Weber H, Sauer KH, Geis-Gerstöfer J, Krathenstein J (1986):** Zur Modellaufnahme durch implantologische und prothetische Messaufnahmen. Zahnärztl. Implantol., 2, 65.
- 72. Weerda H (2001):** Klassifikation und Chirurgie der Ohrmuschelmissbildungen Nr.9. Laryngo-Rhino-Otol. 80: 627-629
- 73. Wesselkamp M, Kliem K, Kollmeier B (1992):** Erstellung eines Satztests in deutscher Sprache. Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie, Kollmeier B (Hrsg), Buchreihe Audiologische Akustik, Median Verlag
- 74. Wollenberg B, Beltrame M, Schönweiler R, Gehrking E, Nitsch S, Steffen A, Frenzel H (2007):** Integration des aktiven Mittelohrimplantats in die plastische Ohrmuschelrekonstruktion. HNO 55:349 – 356(8)